

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



Tesi di Laurea Magistrale

*Prove sperimentali in sito sul materiale scavato da una TBM di tipo  
EPB in una galleria di grande diametro*

Relatore:

Prof. Ing. Daniele Peila

Candidato:

Alberto Schipani

Correlatori:

Ing. Daniele Martinelli

Ing. Claudio Mandanici

Anno Accademico 2018/2019

## Indice dei contenuti

1.	Introduzione.....	8
2.	Scavo meccanizzato di una galleria.....	10
2.1	Cenni sulle TBMs .....	10
2.2	Tecnologia EPB .....	17
2.2.1	Struttura e funzionamento di una TBM EPB.....	18
3.	Condizionamento del terreno.....	21
3.1	Agenti condizionanti.....	22
3.2	Tensioattivi e schiume .....	22
3.2.1	Parametri di caratterizzazione della schiuma .....	23
3.2.2	Influenza delle pressioni sulla schiuma .....	25
3.3	Generazione della schiuma in una TBM EPB .....	27
4.	Prove di laboratorio sul condizionamento dei terreni attraversati dalla galleria Santa Lucia.....	30
4.1	Caratteristiche del terreno indagato .....	30
4.1.1	Formazione del Monte Morello.....	31
4.1.2	Formazione del Sillano.....	33
4.2	Prove di laboratorio sul condizionamento del terreno .....	34
4.2.1	Prova per la determinazione del FER.....	34
4.2.2	Prova di semivita .....	35
4.2.3	Prova di slump.....	36
4.2.4	Prova di estrazione controllata con coclea da camera in pressione.....	37
4.3	Risultati delle prove di laboratorio sulla formazione di Monte Morello .....	39
4.3.1	Tempi di semivita delle schiume utilizzate .....	39
4.3.2	Risultati della campagna di prove di slump .....	40
4.3.3	Risultati delle prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione.....	50
4.3.4	Commenti finali sui risultati delle prove di laboratorio svolte.....	53
5.	Prove in sito sul condizionamento durante lo scavo .....	55
5.1	Galleria Santa Lucia.....	55
5.2	Parametri di controllo .....	59

5.2.1	Calcolo dei parametri di caratterizzazione della schiuma FER, FIR, TR.....	62
5.3	Prove di slump in sito .....	66
5.3.1	Risultati delle prove di slump in sito .....	68
5.4	Controllo della frazione più grossolana del terreno scavato in sito .....	72
6.	Confronto tra i risultati delle prove di laboratorio e delle prove in sito .....	74
6.1	Differenze tra il condizionamento del terreno in laboratorio e in sito .....	74
6.2	Confronto tra i risultati delle prove di laboratorio e delle prove di slump in sito	76
6.3	Effetti del condizionamento sull'estrazione tramite coclea del materiale dalla camera di scavo .....	79
7.	Interpretazione dei dati raccolti in sito .....	83
7.1	Dipendenza dei parametri FER e FIR dalle pressioni in camera di scavo e confronto con le relazioni teoriche .....	83
7.2	Relazioni tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento della macchina.....	86
7.2.1	Commenti sulle relazioni tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento .....	89
7.3	Relazioni basate sui risultati delle prove di slump in sito.....	89
7.3.1	Commenti sulle relazioni ricavate dai risultati delle prove di slump in sito .	91
8.	Conclusioni.....	93
9.	Ringraziamenti .....	95
10.	Bibliografia.....	96
11.	Allegati .....	98
11.1	Allegato 1: Parametri di controllo ricavati dai valori registrati dal TPC .....	98
11.2	Allegato 2: Calcolo dell'acqua aggiunta e dei parametri FER, FIR, TR .....	106
11.3	Allegato 3: Calcolo dei parametri del condizionamento associati al materiale caratterizzato in sito con prove di slump .....	114
11.4	Allegato 4: Tabelle relative alle prove di slump in sito .....	119

## Indice delle Figure

Figura 2.1: Schema delle TBMs da roccia aperte: a) single gripper; b) double gripper .....	12
Figura 2.2: Schema di una TBM da roccia a singolo scudo .....	12
Figura 2.3: Schema di una TBM da roccia a doppio scudo.....	13
Figura 2.4: Pressioni stabilizzanti in camera di scavo.....	13
Figura 2.5: Campi di applicazione delle TBMs Slurry Shield ed EPB .....	14
Figura 2.6: Schema di una TBM Slurry Shield .....	15
Figura 2.7: Schema di una TBM Hydro Shield: 1) submerged wall; 2) bolla d'aria compressa; 3) parete di contenimento .....	16
Figura 2.8: Schema delle pressioni di supporto al fronte nella tecnologia EPB .....	17
Figura 2.9: Parti principali costituenti una TBM EPB .....	18
Figura 3.1: Effetti della schiuma sul terreno .....	23
Figura 3.2: Schema del sistema di generazione della schiuma in una TBM EPB.....	28
Figura 3.3: Schema di un generatore di schiuma per TMB EPB .....	29
Figura 4.1: Campione di Monte Morello prima della frantumazione (sinistra) e dopo (destra).....	32
Figura 4.2: Generatore di schiuma utilizzato in laboratorio con relativo schema logico di generazione della schiuma.....	35
Figura 4.3: Schema della prova di slump e dimensioni del cono di Abrams .....	36
Figura 4.4: Foto dell'apparato di estrazione controllata con coclea da camera in pressione .....	38
Figura 4.5: Tabella interpretativa per la definizione del comportamento del materiale condizionato tramite prove di slump .....	40
Figura 4.6: Cavità nel materiale creata dalla rotazione della coclea .....	51
Figura 4.7: Prove di slump prima e dopo l'estrazione del materiale nella prova MML-B .	53
Figura 5.1: Testa di scavo della TBM EPB impiegata per lo scavo della galleria Santa Lucia .....	56
Figura 5.2: Profilo geo-meccanico del tratto di galleria in esame.....	58
Figura 5.3: Schema della parete di contenimento.....	60
Figura 5.4: Generatori di schiuma installati sulla TBM EPB S-900 .....	62
Figura 5.5: a) Cono di Abrams utilizzato per l'esecuzione delle prove di slump in sito; b) foto di una prova di slump in sito .....	67

---

Figura 5.6: Profilo geo-meccanico con anelli caratterizzati da prove di slump .....	67
Figura 6.1: Confronto tra le dimensioni della frazione grossolana della formazione di Monte Morello analizzata in laboratorio a) e di quella in sito derivante dallo scavo b) .....	75
Figura 6.2: Confronto tra i valori di slump relativi ad un buon condizionamento in laboratorio e in sito .....	79

## Indice dei Grafici

Grafico 3.1: Rappresentazione grafica della legge di Boyle .....	26
Grafico 3.2: Relazione teorica tra la pressione relativa e i parametri FER e FIR secondo la legge di Boyle.....	27
Grafico 4.1: Curve granulometriche della formazione di Monte Morello dopo la frantumazione .....	33
Grafico 4.2: Quadro riassuntivo delle prove di slump con l'uso del tensioattivo A effettuate a $t_0$ .....	46
Grafico 4.3:Quadro riassuntivo delle prove di slump con l'uso del tensioattivo B effettuate a $t_0$ .....	49
Grafico 4.4: Pressione sulla piastra di carico del serbatoio durante le due prove .....	51
Grafico 4.5: Coppia applicata alla vite a coclea durante le due prove .....	52
Grafico 4.6: Spostamento del pistone di carico durante le due prove .....	52
Grafico 4.7: Pressione lungo la coclea durante la prova MML-A (a sinistra) e la prova MML-B (a destra).....	53
Grafico 5.1: Esempio dell'andamento del flusso d'aria per le varie linee della schiuma durante lo scavo .....	63
Grafico 5.2: Esempio dell'andamento del flusso del liquido generatore per le varie linee della schiuma durante lo scavo .....	63
Grafico 5.3: Andamento del FER medio di ogni avanzamento nel tratto in esame .....	65
Grafico 5.4: Andamento del FIR medio di ogni avanzamento nel tratto in esame .....	65
Grafico 5.5: Andamento del TR medio di ogni avanzamento nel tratto in esame .....	66
Grafico 5.6: Risultati di tutte le prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR 70	
Grafico 5.7: Risultati delle prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR escludendo le prove nel tratto di galleria con notevoli venute d'acqua al fronte .....	70
Grafico 5.8: Risultati di tutte le prove di slump in sito in termini di FER e FIR .....	71
Grafico 6.1: Risultati delle prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR e valori ottimali definiti dalle prove di laboratorio .....	77
Grafico 6.2: Risultati delle prove di slump in sito in termini di FER e FIR e valori ottimali definiti dalle prove di laboratorio .....	78
Grafico 6.3: Andamento della coppia della coclea durante lo scavo dell'anello 1390 .....	81

Grafico 6.4: Andamento della velocità di rotazione della coclea durante lo scavo dell'anello 1390 .....	81
Grafico 6.5: Esempio dell'andamento delle pressioni all'entrata e all'uscita della coclea nel caso di pressioni all'uscita non nulle .....	82
Grafico 7.1: Andamento teorico del $FER_p$ e del $FIR_p$ in funzione delle pressioni per $FER_0=30$ e $FIR_0=150\%$ .....	84
Grafico 7.2: Valori puntuali di $FER_p$ e $FIR_p$ relativi alle condizioni reali in sito .....	84
Grafico 7.3: Andamento del $FIR_p$ in funzione del $FER_p$ in sito .....	85
Grafico 7.4: Relazione tra $FIR_p$ e il rapporto Coppia/ $F_{netta}$ .....	87
Grafico 7.5: Relazione tra il flusso medio di schiuma e il rapporto Coppia/ $F_{netta}$ .....	87
Grafico 7.6: Relazione tra la somma dei flussi medi di acqua e di schiuma e il rapporto Coppia/ $F_{netta}$ .....	88
Grafico 7.7: Relazione tra i valori di slump e i quantitativi di schiuma e di acqua aggiunta .....	90
Grafico 7.8: Relazione tra i valori di slump e i quantitativi di schiuma e di acqua aggiunta escludendo le prove di slump nel tratto con venute d'acqua al fronte .....	90

## Indice delle Tabele

Tabella 4.1: Classificazione geo-meccanica del Monte Morello .....	31
Tabella 4.2: Caratterizzazione geo-meccanica del Monte Morello.....	32
Tabella 4.3: Tempi di semivita per le diverse schiume con concentrazione 2% e FER variabile .....	39
Tabella 4.4: Prove di slump con l'uso del tensioattivo A.....	42
Tabella 4.5: Prove di slump con l'uso del tensioattivo A. Effetti del tempo e della temperatura .....	44
Tabella 4.6: Prove di slump con l'uso del tensioattivo B.....	46
Tabella 4.7: Prove di slump con l'uso del tensioattivo B. Effetti del tempo e della temperatura .....	48
Tabella 4.8: Parametri del condizionamento per le prove di estrazione con coclea.....	50
Tabella 5.1: Tabella relativa alle prove di slump eseguite durante un avanzamento .....	69
Tabella 5.2: Foto del materiale lapideo lavato con relativo numero di avanzamento e progressiva del fronte a inizio scavo .....	73
Tabella 6.1: Confronto tra i valori dei parametri ottimali del condizionamento definiti dalle prove di laboratorio e dalle prove in sito.....	77
Tabella 6.2: Risultati delle prove di slump per l'anello 1390 .....	80

## 1. Introduzione

Nello scavo meccanizzato di una galleria con una TBM di tipo EPB (Tunnel Boring Machine di tipo Earth Pressure Balance) il condizionamento del terreno è un aspetto di fondamentale importanza, perché lo stesso terreno scavato viene usato per l'applicazione delle pressioni di supporto al fronte.

L'obiettivo del condizionamento è quello di trasformare, tramite la miscelazione con agenti condizionanti, il terreno scavato in un materiale plastico e impermeabile in grado di trasmettere le pressioni stabilizzanti al fronte ed evitare l'ingresso dell'acqua di falda in camera di scavo.

Innanzitutto, prima di procedere alla fase di realizzazione della galleria, è necessario valutare l'idoneità del terreno attraversato all'applicazione della tecnologia EPB. Tale valutazione viene eseguita da laboratori specializzati svolgendo una serie di prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione del comportamento del materiale condizionato.

Tuttavia, definita l'applicabilità della tecnologia EPB, in sito si possono avere delle condizioni diverse rispetto a quelle definite in laboratorio (variabilità del terreno e del suo contenuto d'acqua naturale lungo il tracciato, temperature e pressioni in camera di scavo), per cui è necessario adattare il condizionamento alle condizioni reali.

Nella presente tesi si è analizzato il condizionamento del terreno attraversato da una galleria di grande diametro (galleria Santa Lucia), soffermandosi sia sulla fase di caratterizzazione del materiale condizionato in laboratorio sia sul condizionamento in sito durante lo scavo di un tratto di galleria.

Il terreno in esame, prevalentemente a base calcarea, dopo essere stato condizionato con diversi set di parametri, è stato sottoposto in laboratorio a prove di slump e a prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione, e dai risultati di tali prove si sono definiti i parametri ottimali del condizionamento. Invece in sito si sono svolte delle prove di slump sul materiale estratto dalla camera di scavo, associate ad un monitoraggio dei parametri del condizionamento e dei parametri di avanzamento della macchina. Quindi si

sono confrontati i risultati delle prove di laboratorio e delle prove in sito, sottolineando le differenze delle condizioni operative in laboratorio e in sito.

Inoltre l'interpretazione dei dati raccolti in sito durante lo scavo ha permesso di ricavare delle relazioni tra i parametri del condizionamento e i risultati delle prove di slump in sito, e tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento della macchina, dimostrando che il condizionamento del terreno ha effetti anche sulla potenza richiesta dalla rotazione della testa di scavo.

## 2. Scavo meccanizzato di una galleria

Le attività di scavo di una galleria sono influenzate dalle condizioni geo-meccaniche ed idrauliche del terreno. Aspetti fondamentali da valutare nella scelta della metodologia di scavo sono la stabilità del fronte, la stabilità della galleria ed i vincoli imposti dalle condizioni al contorno (es. ambiente urbano, livello della falda). Infatti spesso si deve lavorare in condizioni critiche, ovvero:

- Al di sotto del livello di falda;
- A bassa copertura;
- In terreni sciolti e non coesivi;
- Sezioni di grandi dimensioni;
- Vincoli sui cedimenti superficiali;
- Vincoli sulle vibrazioni.

In tali condizioni è preferibile adottare lo scavo meccanizzato, il quale prevede l'uso di una TBM (Tunnel Boring Machine), detta anche fresa o talpa.

### 2.1 Cenni sulle TBMs

La nascita dello scavo meccanizzato avvenne a partire dalla fine degli anni '800, ed in seguito a numerosi studi e miglioramenti si arrivò alle attuali TBMs.

Le parti essenziali che compongono una TBM sono:

- Testa rotante su cui sono installati gli utensili di scavo: E' una sezione circolare metallica più o meno aperta che viene contrastata al fronte da un sistema di spinta ed è azionata da una serie di motori elettrici o idraulici;
- Scudo (shield): E' uno scudo metallico cilindrico posto a ridosso della testa di scavo, avente la funzione di proteggere i lavoratori da eventuali distacchi e collassi di materiale in prossimità della sezione di scavo. Non è sempre presente;
- Sistema di spinta: E' costituito da un singolo pistone o da un sistema di pistoni idraulici aventi una certa corsa. Contrastando sull'anello di rivestimento fa avanzare la macchina;

- Sistema di rimozione e trasporto del materiale scavato: Il materiale scavato viene rimosso dal fronte e trasportato all'esterno tramite nastri trasportatori o vagoni;
- Back-up: E' una struttura di traino contenente tutti i servizi accessori (cabina di comando, trasformatori, compressori, serbatoi, ventilatori). Inoltre ha la funzione di ricezione e scarico di tutti i materiali necessari all'avanzamento dello scavo (tubazioni, parti di ricambio, ecc...). E' dotato di ruote che gli permettono di avanzare insieme alla parte anteriore a cui è collegato.

A seconda delle caratteristiche del terreno da scavare esistono due grandi famiglie di TBMs, e sono:

- TBMs da roccia;
- TBMs da terra.

Le TBMs da roccia possono essere aperte, cioè non dotate di scudo protettivo, oppure dotate di un singolo o un doppio scudo. Il loro campo di applicabilità riguarda gli ammassi rocciosi di resistenza medio-alta per i quali non si hanno problemi di instabilità del fronte, in quanto non applicano alcuna pressione di stabilizzazione al fronte. In particolare le macchine aperte si usano esclusivamente nei contesti in cui la qualità della roccia garantisce la stabilità della galleria dietro il fronte di scavo, altrimenti è necessario impiegare una macchina scudata, anche se negli ultimi anni, per ragioni di sicurezza, anche le macchine aperte vengono dotate di uno scudo di lunghezza ridotta.

Nelle TBMs da roccia aperte il sistema di spinta è formato da uno o più pistoni longitudinali e da un sistema di contrasto, costituito da una o due coppie di gripper che si ancorano contro le pareti della galleria (Figura 2.1). L'avanzamento è discontinuo e ciclico, e prevede le seguenti fasi: 1) posizionamento dei gripper contro le pareti (gripping); 2) scavo per una lunghezza pari alla corsa dei pistoni longitudinali; 3) degripping, ovvero rimozione del contrasto; 4) ritiro dei pistoni longitudinali con conseguente traino del resto della macchina.

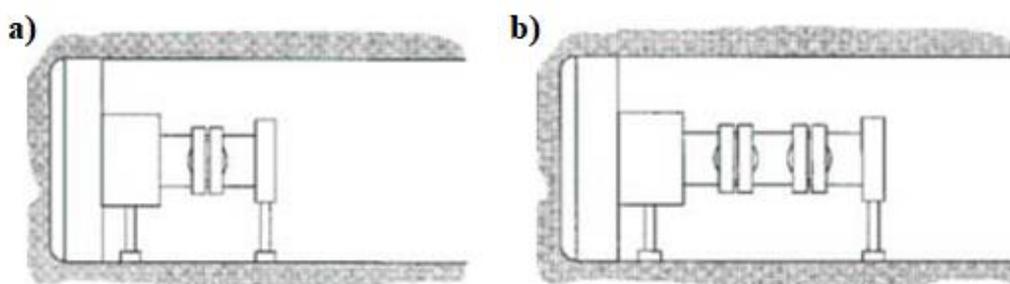


Figura 2.1: Schema delle TBMs da roccia aperte: a) single gripper; b) double gripper

Invece nelle TBMs a singolo scudo, sia da roccia che da terra, il sistema di spinta è costituito da vari gruppi di pistoni idraulici longitudinali, disposti sul contorno interno dello scudo, che contrastano contro l'anello di rivestimento, formato da conci prefabbricati in calcestruzzo armato, precedentemente installato (Figura 2.2). Il montaggio dei conci avviene tramite un erettore dotato di un sistema a ventosa. Chiaramente nelle macchine scudate la sezione di scavo è leggermente maggiore rispetto allo scudo. Anche in tal caso il processo di avanzamento è discontinuo e ciclico, ma richiede un tempo maggiore poiché si deve montare l'anello; le fasi sono: 1) scavo per una lunghezza pari alla corsa dei pistoni di spinta; 2) ritiro per gruppi dei pistoni e montaggio dei conci; 3) messa in contrasto dei pistoni sul concio appena montato.

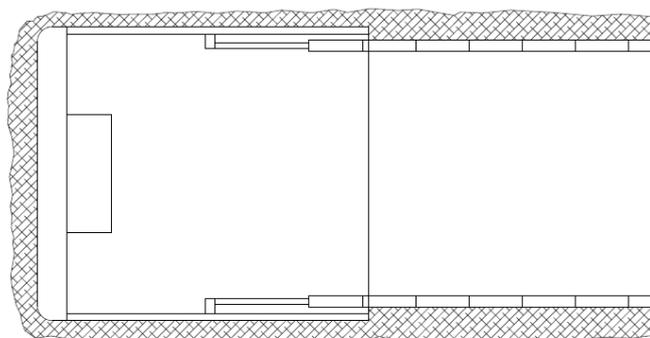


Figura 2.2: Schema di una TBM da roccia a singolo scudo

Le TBMs da roccia a doppio scudo sono dotate di due scudi in successione collegati telescopicamente: sullo scudo anteriore è montata la testa di scavo, sul posteriore i grippers e l'erettore. A seconda della qualità della roccia possono avanzare come una TBM scudata aperta o come una TBM a singolo scudo.

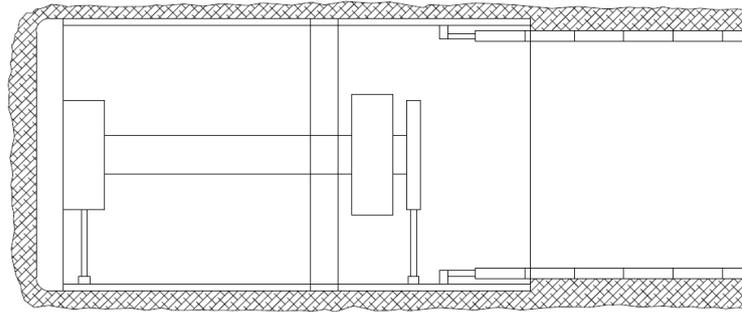


Figura 2.3: Schema di una TBM da roccia a doppio scudo

Le TBMs da terra sono utilizzate in terreni sciolti e roccia con resistenza medio-bassa (roccia fratturata), ma soprattutto in presenza di falda; sono a singolo scudo ed in grado di applicare una pressione di supporto al fronte. L'applicazione delle pressioni al fronte è possibile in quanto la testa di scavo è isolata dal resto della macchina tramite una parete di contenimento, che definisce una camera, detta *camera di scavo*, in cui si mantiene una pressione stabilizzante tale da bilanciare la tensione geostatica orizzontale del terreno ed eventualmente anche la pressione idrostatica della falda (Figura 2.4). Esistono due tipologie di TBMs da terra e sono:

- *Slurry Shield* e *Hydro Shield* (TBM a fango bentonitico);
- *EPB (Earth Pressure Balance)* (TBM a contropressione di terra).

In realtà negli ultimi anni si è sviluppata anche un terza tipologia di TBMs da terra, la *Variable Density*, che però è la combinazione su una stessa macchina delle tecnologie principali sopra citate. Tali macchine vengono utilizzate in condizioni geologiche molto variabili, infatti possono avanzare in modalità EPB o in modalità Slurry e il passaggio da una modalità all'altra avviene mantenendo il pieno controllo delle pressioni al fronte.

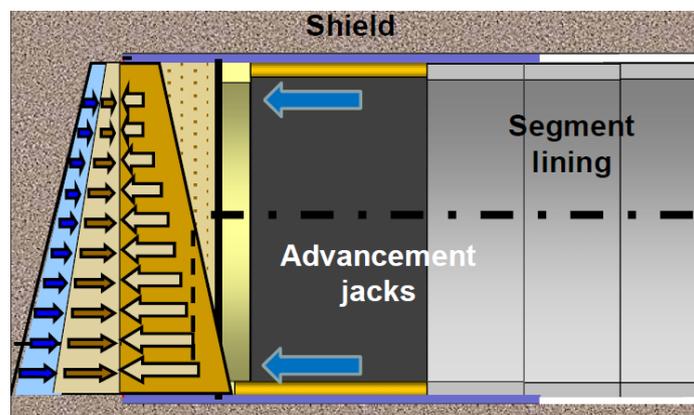


Figura 2.4: Pressioni stabilizzanti in camera di scavo

In tale trattazione ci si sofferma soprattutto sulle TBMs di tipo EPB, tuttavia per completezza si illustrano brevemente anche le altre tipologie.

La scelta tra le tecnologie Slurry Shield ed EPB dipende da vari fattori, quali:

- Granulometria del terreno da scavare (Figura 2.5);
- Pressione da applicare al fronte;
- Gestione del materiale scavato;
- Vincoli ambientali.

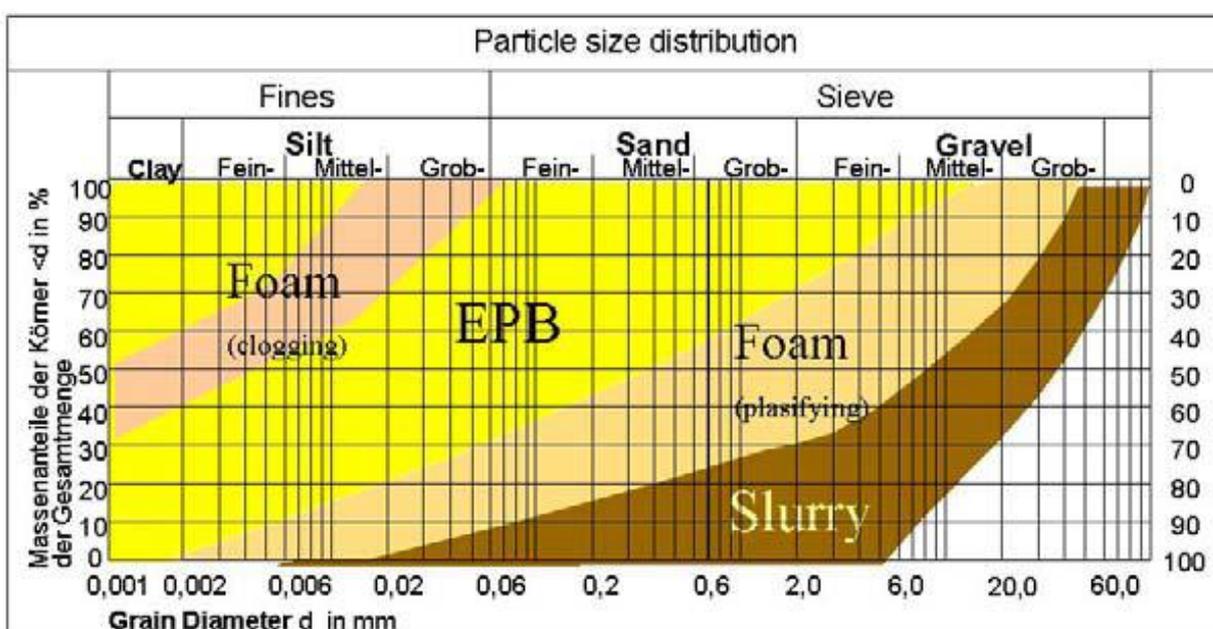


Figura 2.5: Campi di applicazione delle TBMs Slurry Shield ed EPB

E' evidente che, a seconda delle condizioni geologiche del terreno da scavare, la testa di scavo deve essere equipaggiata con utensili di scavo diversi, infatti si distinguono tre tipologie di teste di scavo:

- Testa di scavo per roccia: sono montati esclusivamente i dischi da taglio (cutters);
- Testa di scavo per terreni: sono montati esclusivamente gli utensili a scalpello (scrapers e rippers);
- Testa di scavo mista: sono montati sia i dischi da taglio che gli utensili a scalpello.

Nelle TBMs *Slurry Shield* la pressione di supporto al fronte viene applicata tramite una sospensione di bentonite in acqua, che viene pompata in camera di scavo tramite le tubazioni di mandata del circuito slurry poste nella parte alta della camera (Figura 2.6). Il

fango bentonitico si presta bene a tale scopo, sia per il suo comportamento tissotropico sia perché forma una pellicola impermeabile sul fronte, detta *filter cake*. La miscela bentonitica deve essere studiata caso per caso, perché la concentrazione di bentonite necessaria alla formazione dello strato impermeabile varia al variare della granulometria del terreno attraversato.

Inoltre il fango bentonitico svolge anche la funzione di mezzo di trasporto del materiale rimosso dagli utensili di scavo, che si amalgama al fango e viene rimosso tramite le tubazioni di ritorno del circuito situate nella parte bassa della camera (Figura 2.6). In camera di scavo, davanti alla griglia di accesso della tubazione di ritorno, è installato un frantumatore a mascella per evitare che il materiale di grossa pezzatura vada ad ostruire la tubazione.

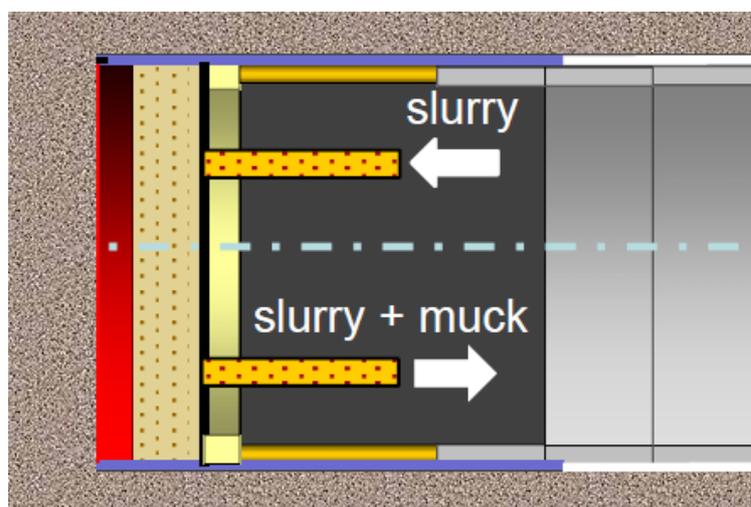


Figura 2.6: Schema di una TBM Slurry Shield

La miscela di fango bentonitico e materiale scavato viene inviata attraverso le tubazioni di ritorno del circuito all'impianto di separazione, in cui il recupero della bentonite avviene tramite un sistema di vagli, centrifughe e separazioni chimiche.

L'impianto di separazione richiede grande spazio, per cui viene generalmente installato nell'area di cantiere, può richiedere tubazioni di grande diametro lungo la galleria ed eventualmente anche stazioni di rilancio, è molto rumoroso e il suo costo è rilevante.

Un problema del fango bentonitico è che, a causa del suo peso specifico elevato, non si presta bene a regolazioni di pressione rapide; questo problema è stato superato con le TBM *Hydro Shield*, in cui la camera di scavo è divisa in due parti da una parete di

separazione, detta *submerged wall* (Figura 2.7). Nella parte anteriore si trova il fango bentonitico che esercita la pressione stabilizzante al fronte, nella parte alta della camera posteriore, che comunica con la camera anteriore, si regola la pressione di una bolla d'aria compressa (procedura di regolazione più rapida e meno dispendiosa energeticamente), con conseguente regolazione della pressione al fronte.

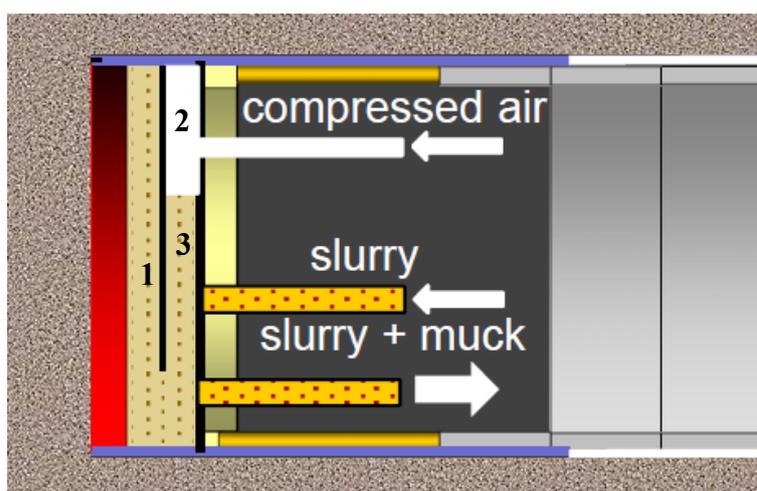


Figura 2.7: Schema di una TBM Hydro Shield: 1) submerged wall; 2) bolla d'aria compressa; 3) parete di contenimento

Le TBMs Slurry Shield/Hydro Shield tipicamente vengono utilizzate per lo scavo di gallerie in terreni a grana grossa e possono avere grande diametro, in quanto:

- per i terreni a grana fine (argilla e limo) la separazione dalla bentonite nell'impianto di separazione è più difficoltosa;
- la testa di scavo ruota in un fango con viscosità molto bassa, quindi la potenza richiesta per la rotazione è bassa anche in sezioni di grande diametro.

Un aspetto da tenere in considerazione durante l'uso di una Slurry Shield (o Hydro Shield) è il rischio di perdere il fango bentonitico in presenza di fratture nel terreno, con conseguente abbassamento delle pressioni in camera di scavo e soprattutto danni ambientali.

Attualmente l'elevato costo, la rumorosità e la richiesta di grandi spazi dell'impianto di separazione rendono le TBMs Slurry Shield poco utilizzate per lo scavo di sezioni medio-grandi (linee metro, gallerie ferroviarie e stradali), anche se mantengono il primato nell'ambito del microtunnelling.

## 2.2 Tecnologia EPB

Data la difficoltà di separazione dei terreni a grana fine dal fango bentonitico, negli anni '70 in Giappone sorse l'idea di utilizzare lo stesso terreno scavato e accumulato nella camera di scavo per applicare le pressioni di supporto al fronte (Figura 2.8), da cui la nascita delle TBMs EPB. Quindi questa tecnologia non prevede la presenza dell'impianto di separazione, riducendo così gli spazi e i costi.

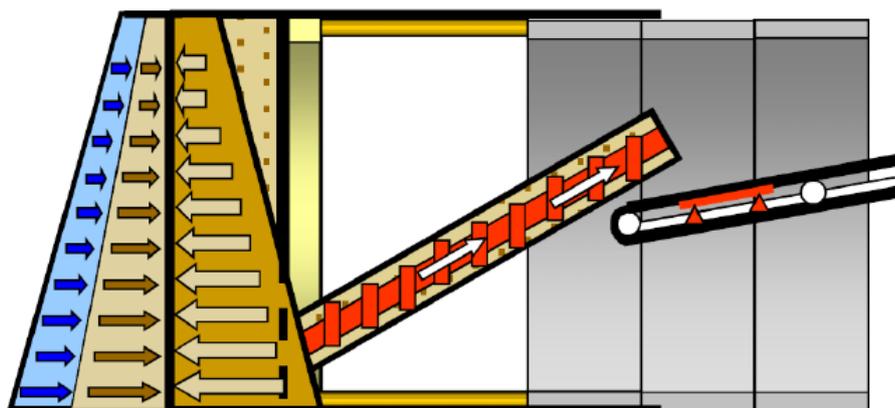


Figura 2.8: Schema delle pressioni di supporto al fronte nella tecnologia EPB

Il materiale scavato deve essere reso idoneo all'applicazione delle pressioni tramite la miscelazione con agenti condizionanti, quali schiuma, acqua ed eventualmente polimeri e bentonite o filler, tale processo è noto come *condizionamento del terreno*.

Però la difficoltà di realizzare un fango sufficientemente fluido da poter essere pompato comporta che il materiale venga rimosso dalla camera di scavo tramite un estrattore a coclea.

In genere le EPB vengono utilizzate in modalità chiusa, ovvero con la camera di scavo piena, ma teoricamente possono avanzare anche in modalità aperta, cioè con la camera di scavo vuota. Tuttavia questa quest'ultima modalità viene utilizzata solo nei casi in cui non è necessario applicare una pressione di stabilizzazione (assenza di falda e fronte stabile).

Inizialmente le EPB venivano utilizzate nei terreni a grana fine (argille e limi) e per gallerie di piccolo diametro, in quanto:

- nei terreni a grana fine è più facile creare un materiale plastico idoneo alla trasmissione della pressione;

- la testa di scavo ruota in un materiale plastico per cui necessita di una potenza elevata.

Tuttavia, grazie agli sviluppi nell'ambito del condizionamento del terreno e in quello meccanico, questi limiti sono superati e il campo di applicabilità delle TBMs EPB è aumentato notevolmente. Infatti attualmente la tecnologia EPB ricopre circa il 90% del mercato delle TBMs.

### 2.2.1 Struttura e funzionamento di una TBM EPB

Le parti principali che compongono una TBM EPB sono schematizzate in Figura 2.9 e illustrate di seguito.

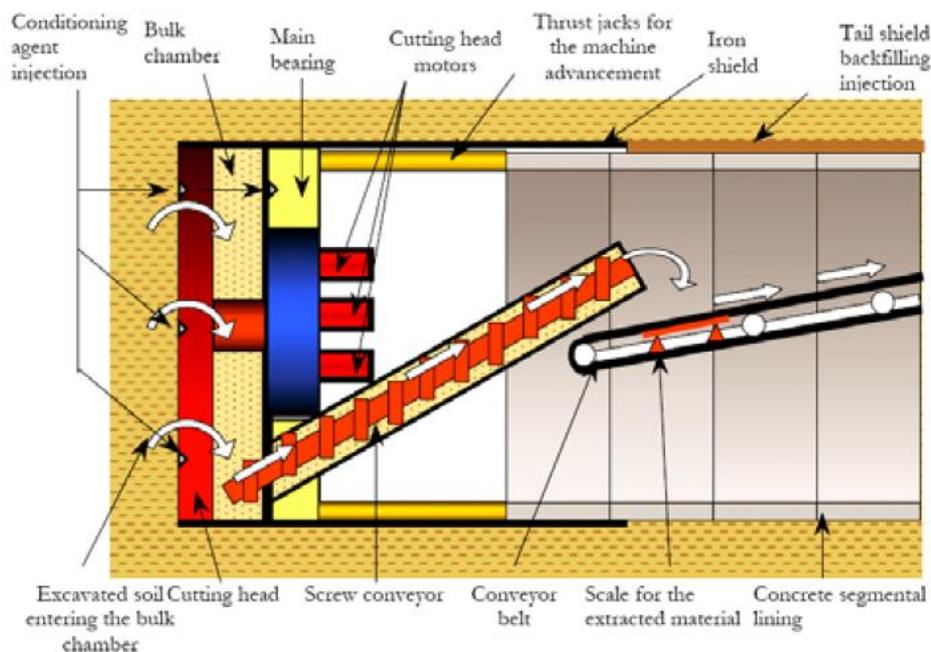


Figura 2.9: Parti principali costituenti una TBM EPB

La testa di scavo (*cutting head*), a seconda delle caratteristiche geo-meccaniche del terreno, viene dotata degli appositi utensili di scavo e presenta un certo grado di apertura. Chiaramente al diminuire del grado di apertura aumenta la robustezza della testa e si riduce la dimensione massima dei blocchi che possono entrare in camera di scavo. Inoltre essa è dotata di punti di iniezione degli agenti condizionanti.

Il materiale scavato e condizionato viene accumulato temporaneamente all'interno della camera di scavo (*bulk chamber*), la quale è confinata da una parete di pressione (o di

*contenimento*) (*pressure wall*) su cui sono posizionati a vari livelli dei trasduttori di pressione, che permettono di monitorare le pressioni in camera.

Dalla camera di scavo il materiale viene estratto tramite una *vite a coclea* (*screw conveyor*), che è equipaggiata nella parte terminale con un cassetto di scarico in cui si ha una ghigliottina, la cui apertura permette il controllo e la regolazione del flusso dello smarino.

Per un buon funzionamento della tecnologia EPB la coclea deve svolgere le seguenti funzioni:

- deve essere sempre piena in modo tale da fungere da “tappo” per mantenere le pressioni in camera di scavo e per evitare l’ingresso di acqua in macchina;
- deve dissipare gradualmente la differenza di pressione tra la pressione in camera di scavo e la pressione atmosferica. Infatti la sua lunghezza dipende dalla pressione da dissipare.

Per mantenere le pressioni in camera di scavo è fondamentale che la quantità di materiale estratto sia uguale a quella di materiale scavato, ovvero la camera deve essere sempre piena. Invece la regolazione delle pressioni in camera può avvenire intervenendo sulla velocità di avanzamento e/o sulla velocità di rotazione della coclea. Se si devono aumentare le pressioni si deve aumentare la velocità di avanzamento e/o ridurre la velocità di rotazione della coclea, invece se si vuole un abbassamento delle pressioni si deve procedere al contrario.

Il materiale estratto dalla vite a coclea viene riversato su un *nastro trasportatore* (*conveyor belt*) o su vagoni e trasportato all’esterno in un’apposita area di stoccaggio temporanea, dove lo smarino, prima di essere rimosso, viene lasciato sedimentare per il tempo necessario alla biodegradazione degli agenti condizionanti.

L’organo che trasmette la rotazione e la spinta alla testa rotante è il *cuscinetto reggispinta* (*main bearing*), il quale è dotato di una corona dentata che trasferisce il moto rotatorio, generato da una serie di motori elettrici o idraulici, alla testa. La caratteristica di questo organo è che il suo collegamento con la testa di scavo non è a tenuta stagna, ma, per evitare l’ingresso di particelle solide all’interno degli ingranaggi, si ha un trafilamento continuo di grasso dall’interno della macchina verso la camera di scavo. Si tratta dunque di un

elemento molto importante, in quanto una sua rottura comporta dei fermi molto lunghi per la riparazione.

La spinta necessaria all'avanzamento viene fornita da *pistoni idraulici (thrust jacks)*, posizionati sulla circonferenza interna dello scudo, che contrastano sull'anello di rivestimento precedentemente installato. Agendo sulle pressioni dei pistoni idraulici è possibile guidare la fresa lungo il tracciato della galleria.

Il montaggio dei conci prefabbricati costituenti l'anello di rivestimento avviene tramite un *erettore (erector)*, si tratta sostanzialmente di un braccio telescopico che può muoversi longitudinalmente e radialmente su delle apposite guide, e dotato di un sistema a ventosa per la presa del concio.

La sezione di scavo è leggermente più grande rispetto allo scudo (5-15 cm), pertanto rimane un gap tra il profilo di scavo e l'anello, che viene riempito iniettando un'apposita malta in coda allo scudo (procedura nota con il termine di *backfilling*), e un gap tra l'anello e lo scudo dal quale potrebbe entrare in macchina acqua e la stessa malta, ma ciò viene evitato tramite un sistema di due o più file di spazzole di ottone (il numero dipende dalla pressione dell'acqua). Le spazzole definiscono lungo la circonferenza interna della coda dello scudo delle camere, che durante l'avanzamento vengono riempite continuamente di grasso.

La parete di contenimento è dotata di un sistema di accesso in camera di scavo tramite una *camera iperbarica*, che viene eventualmente utilizzata durante le operazioni di manutenzione e di sostituzione degli utensili da scavo; in essa si applica un gradiente di pressione positivo o negativo che serve all'acclimatamento degli operai rispettivamente alla pressione in camera e a quella atmosferica. Tale sistema, nonostante la camera di scavo sia vuota, permette di mantenere una pressione di supporto al fronte tramite dell'aria compressa.

### 3. Condizionamento del terreno

Il condizionamento del terreno consiste nel miscelare il terreno scavato con agenti condizionanti al fine di ottenere le idonee proprietà di plasticità e consistenza necessarie alla corretta applicazione delle pressioni di stabilizzazione al fronte. Quindi l'obiettivo del condizionamento è quello di trasformare il terreno scavato in un materiale caratterizzato da:

- buona plasticità;
- bassa permeabilità;
- consistenza pastosa.

E' dunque evidente che il condizionamento del terreno è un aspetto fondamentale nello scavo meccanizzato con tecnologia EPB e deve essere analizzato preventivamente in laboratorio, caso per caso, al fine di ottimizzare il processo di scavo.

In una TBM EPB l'iniezione degli agenti condizionanti avviene in diversi punti situati: sulla testa di scavo; nella camera di scavo; lungo la coclea.

Di seguito si elencano tutti gli effetti di un corretto condizionamento:

- Riduzione dell'usura di tutte le parti meccaniche della macchina a contatto con lo smarino;
- Migliore uniformità della distribuzione delle pressioni in camera di scavo;
- Controllo del flusso del materiale scavato attraverso le aperture della testa di scavo;
- Riduzione degli attriti in camera di scavo;
- Riduzione della permeabilità con conseguente miglior controllo delle venute d'acqua dal fronte;
- Flusso omogeneo lungo la coclea e completo riempimento della stessa;
- Migliore trasportabilità per mezzo del nastro trasportatore;
- Limitare l'adesione dell'argilla sulle parti meccaniche ed evitare la sua ricompattazione in camera di scavo;
- Riduzione della potenza richiesta per la rotazione della testa di scavo.

### 3.1 Agenti condizionanti

Gli agenti condizionanti più utilizzati per il condizionamento del terreno sono:

- *Schiuma*: E' una miscela di tensioattivo (agente schiumogeno) con acqua e aria;
- *Polimeri a lunga catena*: Migliorano la stabilità delle bolle di schiuma;
- *Agenti lubrificanti e anti-adesione, agenti disgreganti*: Per limitare l'adesione ed evitare la ricompattazione dell'argilla;
- *Bentonite, filler*: Per modificare la curva granulometrica del terreno scavato;
- *Acqua*: Per fornire plasticità alla parte fine del terreno scavato.

In particolare la schiuma e l'acqua sono i due agenti più utilizzati. Infatti una regola empirica afferma che, nel caso in cui la percentuale di particelle aventi la dimensione del limo sia almeno del 10 ÷ 15 %, è sufficiente solo la schiuma (oltre l'acqua) per ottenere un buon condizionamento. Di seguito ci si sofferma sul comportamento della schiuma.

### 3.2 Tensioattivi e schiume

Le percentuali indicative della composizione in volume di una comune schiuma impiegata nella tecnologia EPB sono:

- Tensioattivo 0,5 ÷ 3 %;
- Acqua 5 ÷ 10 %;
- Aria 90 ÷ 95 %;
- Polimero (eventualmente) < 0,1 %.

L'effetto della schiuma sul terreno è influenzato dalla presenza del tensioattivo, che è una molecola formata da una combinazione di una testa idrofila (componente polare, ovvero solubile in acqua) e una coda idrofobica (componente apolare). La reazione tra tensioattivo e acqua comporta una riduzione della tensione superficiale dell'acqua presente nel terreno con conseguente riduzione della forza di legame tra l'acqua e le particelle di terreno (Figura 3.1).

Quindi la schiuma fornisce al terreno scavato fluidità, plasticità e impermeabilità, in quanto le bolle di schiuma si inseriscono tra i vuoti intergranulari favorendo lo scorrimento tra i

grani ed opponendosi al passaggio dell'acqua (le dimensioni delle bolle di schiuma sono dell'ordine di  $10^{-1}mm$ ).

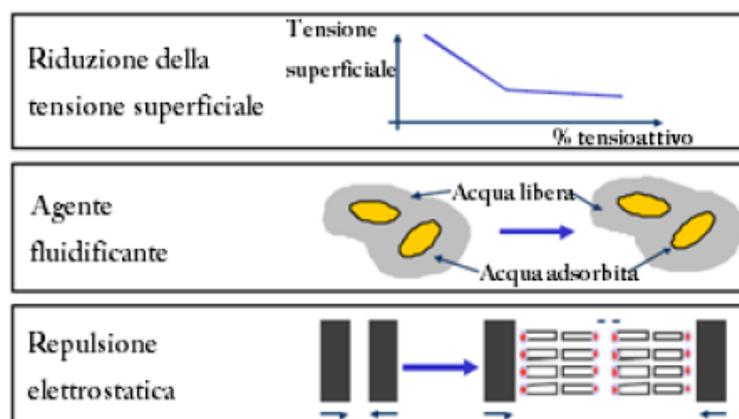


Figura 3.1: Effetti della schiuma sul terreno

Nell'ambito chimico esistono diversi tipi di tensioattivi (anionici, cationici, non ionici, anfoteri), ma quelli comunemente utilizzati per il condizionamento del terreno sono i tensioattivi anionici, caratterizzati da una testa polare con carica negativa, poiché hanno un basso potere microbicida.

La quantità di tensioattivo nel terreno deve rispettare i limiti ambientali e deve garantire una biodegradabilità tale da permettere la rimozione dello smarino dall'area di stoccaggio temporanea dopo un tempo di aerazione non molto lungo (all'incirca 7 giorni). Nell'ottica del rispetto dell'ambiente si deve ricercare un giusto compromesso tra un quantitativo di tensioattivo tale da garantire un buon condizionamento e da rispettare i vincoli ambientali.

### 3.2.1 Parametri di caratterizzazione della schiuma

I parametri che descrivono il comportamento della schiuma impiegata per il condizionamento del terreno nella tecnologia EPB sono:

- **Concentrazione del tensioattivo (c):** percentuale di tensioattivo presente nel liquido generatore della schiuma (acqua + tensioattivo);
- **Tasso di espansione (Foam Expansion Ratio - FER):** rapporto tra il volume di schiuma e il volume iniziale del liquido generatore:

$$FER = \frac{\text{Volume schiuma}}{\text{Volume liquido generatore}} \quad ; \quad FER = 8 \div 20$$

$$\text{Volume liquido generatore} = \text{volume acqua} + \text{volume tensioattivo}$$

In genere, a seconda del valore di tale parametro, la schiuma si distingue in: “bagnata” (dalla dizione anglosassone “wet”) per  $FER = 8 \div 10$ ; e “asciutta” (“dry”) per  $FER = 14 \div 20$ .

- **Tasso di iniezione nel terreno (Foam Injection Ratio – FIR):** rapporto tra il volume di schiuma immesso per condizionare il terreno e il volume di terreno scavato, tipicamente espresso in percentuale:

$$FIR = \frac{Volume\ schiuma}{Volume\ terreno\ scavato} \cdot 100$$

- **Tempo di semivita della schiuma ( $t_{50}$ ):** tempo necessario alla schiuma per drenare il 50% del liquido generatore a pressione atmosferica (EFNARC, 2005).

E' un parametro che esprime la stabilità della schiuma nel tempo e dipende dalla concentrazione del tensioattivo e dal FER. Però si precisa che la stabilità della schiuma quando miscelata con il terreno è di gran lunga superiore rispetto al valore ottenuto con la procedura di calcolo del tempo di semivita.

- **Contenuto di tensioattivo nel volume di terreno scavato (Treatment Ratio – TR):** rapporto tra il volume di tensioattivo utilizzato per condizionare il volume di terreno e il volume di terreno stesso:

$$TR = \frac{Volume\ tensioattivo}{Volume\ terreno\ scavato}$$

E' un parametro del condizionamento che riguarda per lo più l'aspetto ambientale, infatti nella pratica deve stare al di sotto di un valore limite, definito per ogni tipo di terreno sulla base di test ecotossicologici.

I parametri ottimali della schiuma per un buon condizionamento del terreno vengono definiti in laboratorio caso per caso, operando generalmente in condizioni atmosferiche. Tuttavia è bene precisare che il volume di schiuma, essendo composto in buona parte da aria, è influenzato dalle pressioni dell'ambiente in cui avviene l'espansione (camera di scavo), di conseguenza al variare delle pressioni variano anche i valori di FER e FIR. Tale aspetto viene approfondito nel seguente paragrafo.

### 3.2.2 Influenza delle pressioni sulla schiuma

La schiuma è formata da aria, acqua e tensioattivo, tuttavia, mentre il tensioattivo e l'acqua possono considerarsi incomprimibili, l'aria è comprimibile, per cui al variare della pressione in camera di scavo l'aria subirà espansioni diverse e di conseguenza si genereranno anche volumi di schiuma diversi.

Chiaramente, poiché in condizione di pressione positiva (compressione) l'aria si espande meno rispetto alla condizione di pressione atmosferica, il volume di schiuma in camera di scavo risulta essere inferiore rispetto a quello che si avrebbe in condizioni atmosferiche, quindi anche i valori di FER e FIR si riducono. Allora, per garantire il valore prefissato di FER e FIR in camera di scavo, a seconda delle pressioni al suo interno si deve generare un volume di schiuma in condizioni atmosferiche maggiore.

In particolare, data la presenza dell'aria, si può affermare che il volume di schiuma risponda alla *legge di Boyle* per i gas, nota anche come legge dell'isoterma.

La legge di Boyle afferma che il volume occupato da un gas, mantenuto a temperatura costante, è inversamente proporzionale alla pressione alla quale il gas è sottoposto. In termini matematici si esprime come:

$$P \cdot V = costante \quad \text{Legge di Boyle}$$

ovvero:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

dove:

$P_1, V_1$  sono rispettivamente la pressione e il volume iniziale;

$P_2, V_2$  sono rispettivamente la pressione e il volume finale.

Diagrammando i valori di pressione e di volume relativi ad una stessa temperatura su un sistema di assi cartesiani in cui in ascissa si ha il volume e in ordinata la pressione, la curva che si ottiene è un'iperbole equilatera, detta isoterma (Grafico 3.1).

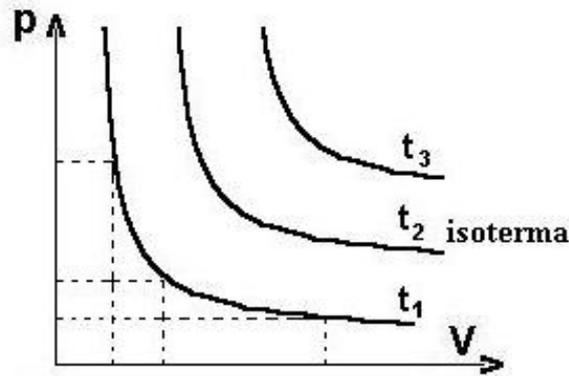


Grafico 3.1: Rappresentazione grafica della legge di Boyle

In realtà un'altra grandezza che influenza l'espansione dell'aria è la temperatura, tuttavia si trascura questa variabile e si ipotizza che il processo avvenga a temperatura costante.

Per definire i parametri della schiuma nelle diverse condizioni di pressione, si introduce alle varie grandezze il pedice "0" per indicare la condizione di pressione atmosferica (in termini di pressioni relative  $p_{atm} = 0 \text{ bar}$ ) ed il pedice "p" quella di pressione in camera di scavo.

$$FER_0 = \frac{V_{s,0}}{V_l} = \frac{V_l + V_{a,0}}{V_l} = 1 + \frac{V_{a,0}}{V_l} \quad ; \quad FER_p = \frac{V_{s,p}}{V_l} = \frac{V_l + V_{a,p}}{V_l} = 1 + \frac{V_{a,p}}{V_l}$$

$$FIR_0 = \frac{V_{s,0}}{V_{ts}} \cdot 100 = \frac{V_l + V_{a,0}}{V_{ts}} \cdot 100 \quad ; \quad FIR_p = \frac{V_{s,p}}{V_{ts}} \cdot 100 = \frac{V_l + V_{a,p}}{V_{ts}} \cdot 100$$

dove  $V_s$  è il volume di schiuma,  $V_l$  il volume del liquido generatore (volume acqua + volume tensioattivo),  $V_a$  il volume di aria e  $V_{ts}$  il volume di terreno scavato.

In particolare, applicando la legge di Boyle, il volume di aria in pressione si calcola come:

$$(p + P_{atm}) \cdot V_{a,p} = P_{atm} \cdot V_{a,0} \quad \rightarrow \quad V_{a,p} = V_{a,0} \cdot \frac{P_{atm}}{p + P_{atm}}$$

dove  $P_{atm}$  è la pressione atmosferica ( $P_{atm} = 1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar} \cong 1 \text{ bar}$ ) e  $p$  è la pressione relativa in camera di scavo espressa in bar.

Sostituendo l'espressione di  $V_{a,p}$  in quelle di  $FER_p$  e  $FIR_p$  si ottengono le seguenti relazioni:

$$FER_p = 1 + \frac{V_{a,0}}{V_l} \cdot \frac{P_{atm}}{p + P_{atm}} = 1 + (FER_0 - 1) \cdot \frac{P_{atm}}{p + P_{atm}}$$

$$FIR_p = FIR_0 \cdot \frac{FER_p}{FER_0}$$

Il Grafico 3.2 mostra la relazione teorica tra la pressione relativa ( $p$ ) e i parametri del condizionamento FER e FIR secondo la legge di Boyle per  $FER_0 = 10$  e  $FIR_0 = 80\%$ .

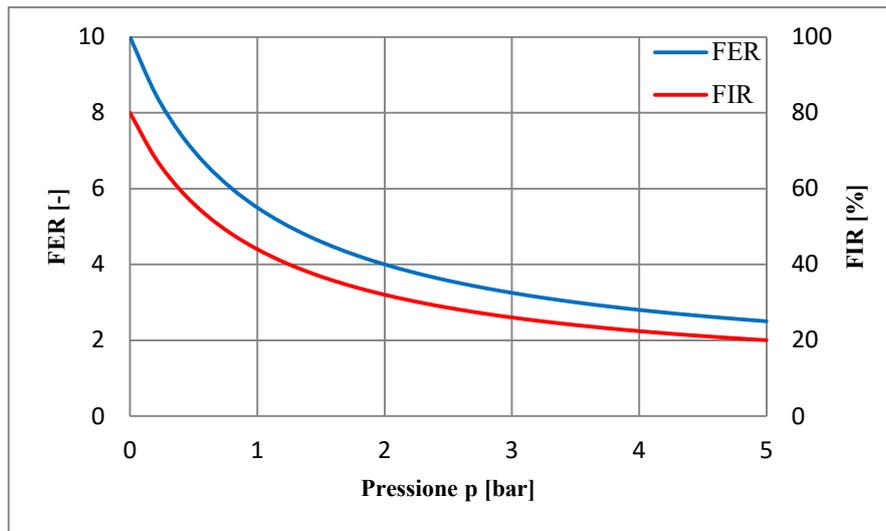


Grafico 3.2: Relazione teorica tra la pressione relativa e i parametri FER e FIR secondo la legge di Boyle

Negli ultimi anni il comportamento della schiuma e del terreno condizionato sotto pressione è stato oggetto di studio per alcuni ricercatori (Mooney, Mori, Cha, Wu, Parikh), i quali hanno riprodotto in laboratorio degli ambienti in pressione in cui hanno eseguito delle prove.

### 3.3 Generazione della schiuma in una TBM EPB

In Figura 3.2 si schematizza un generico sistema di generazione della schiuma in una TBM EPB, composto dai compressori, dai serbatoi di acqua e di tensioattivo, dalle varie linee che trasportano i fluidi e la schiuma, da una serie di generatori di schiuma, dagli apparecchi di misura dei flussi e delle pressioni per il controllo del sistema e dai punti di iniezione della schiuma.

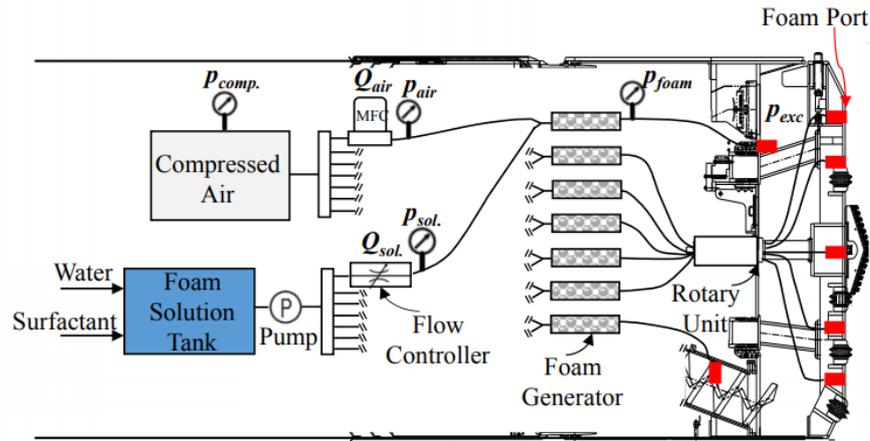


Figura 3.2: Schema del sistema di generazione della schiuma in una TBM EPB

A partire dai serbatoi di aria compressa e di liquido generatore, l'aria e il liquido sono trasportati in flussi separati al generatore (per ogni generatore si ha un flusso di liquido e uno di aria); a monte del generatore i due flussi si uniscono e all'interno del generatore si genera la schiuma, che viene incanalata a valle in una tubazione. Così le linee della schiuma vengono fatte passare attraverso il rotary, che è un giunto posto nella parte posteriore della camera di scavo e garantisce il passaggio del flusso nonostante la rotazione della testa, in canali dedicati che portano la schiuma ai vari punti di iniezione posizionati sulla testa di scavo. Si hanno anche altri punti di iniezione della schiuma in camera di scavo e lungo la coclea.

Ogni punto di iniezione è dotato di una valvola di non ritorno, che permette la fuoriuscita della schiuma evitando l'ingresso di acqua e particelle di terreno dalla camera di scavo nelle linee della schiuma. Affinché avvenga l'apertura della valvola è necessario che la pressione della schiuma ecceda la pressione in camera di scavo.

Quanto detto per le linee di schiuma vale anche per le linee dell'acqua che viene iniettata in testa e in camera di scavo.

Il generatore di schiuma è l'unità in cui avviene la generazione della schiuma a partire dai flussi d'aria e di liquido generatore, in sostanza si tratta di un tubo metallico cavo il cui interno è riempito con lana d'acciaio o biglie d'acciaio in modo da creare turbolenza per favorire la generazione della schiuma (Figura 3.3).

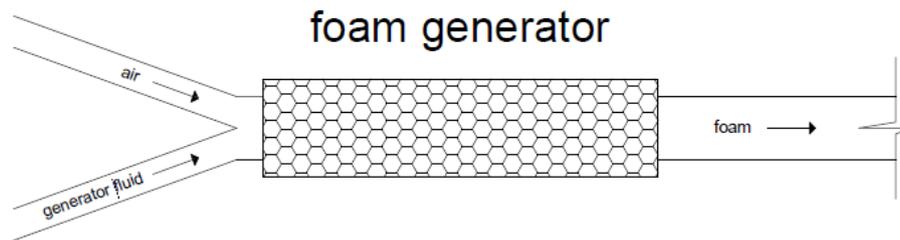


Figura 3.3: Schema di un generatore di schiuma per TMB EPB

Un aspetto fondamentale da tenere in conto nel settaggio del sistema di generazione della schiuma in una TBM EPB riguarda le perdite energetiche che si hanno lungo il sistema. In particolare, essendo la schiuma un fluido comprimibile e non-Newtoniano avente una viscosità che tipicamente è di ordini di grandezza superiore a quella dell'acqua, le perdite di pressione maggiori le si hanno all'interno e a valle del generatore.

Per quanto riguarda l'espansione della schiuma, il FER viene fissato per ogni linea di schiuma al valore desiderato. Teoricamente questo valore è relativo alla condizione di pressione in camera di scavo, e viene mantenuto nel suo intorno andando a regolare il flusso di liquido (acqua + tensioattivo) e il flusso d'aria, monitorati da flussimetri e trasduttori di pressione.

## **4. Prove di laboratorio sul condizionamento dei terreni attraversati dalla galleria Santa Lucia**

Le prove di laboratorio per la valutazione della compatibilità dei terreni attraversati dalla galleria Santa Lucia ad essere scavati per mezzo della tecnologia EPB sono state eseguite dal laboratorio TUSC – Gallerie e Opere in sotterraneo del Politecnico di Torino.

La procedura utilizzata per lo svolgimento delle prove è ampiamente consolidata e verificata, consiste nell'eseguire una campagna di prove per differenti livelli di condizionamento per mezzo di schiume e contenuto d'acqua mediante prove di slump e prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione.

L'obiettivo di tali prove è verificare la capacità del terreno di applicare la pressione di supporto al fronte, nonché di riempire adeguatamente la coclea come richiesto per la corretta applicazione della tecnologia EPB.

Chiaramente si tratta di prove a scala e pressioni ridotte rispetto alla situazione reale, per cui risentono dei fattori di scala ed operativi (tempo, pressioni e temperatura in camera di scavo), tuttavia i risultati da esse forniti sono da intendersi come un'indicazione dei parametri di condizionamento, ovvero un solido dato di partenza che definisce la fattibilità del condizionamento.

### **4.1 Caratteristiche del terreno indagato**

La galleria Santa Lucia attraversa prevalentemente due formazioni geologiche tipiche dell'Appennino Tosco-Emiliano, che sono la formazione calcarea denominata "*Monte Morello*" e la formazione argillitica denominata "*Sillano*".

Le prove di laboratorio sono state eseguite su due campioni, uno per ciascuna formazione, ritenuti rappresentativi del comportamento delle formazioni.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica delle caratteristiche geologiche e meccaniche della formazione del Monte Morello, definite sulla base di analisi del materiale estratto da sondaggi, e la curva granulometrica della stessa formazione utilizzata per le prove di condizionamento. Per completezza si descrive geologicamente anche la formazione del

“Sillano”, anche se nel resto della trattazione non verrà più analizzata, in quanto ci si concentra esclusivamente sulla formazione del “Monte Morello”.

#### 4.1.1 Formazione del Monte Morello

- **Descrizione geologica**

Alternanza di calcari e calcari marnosi nocciola e grigio chiari da compatti a granulosi, talora con base calcarenitica, marne da avana a grigie e siltiti grigie talvolta scure. Localmente sono presenti calcilutiti e livelli di calcareniti, a grana fine o media, da sottili a medi, più frequenti verso la base della formazione, con impronte di fondo dovute a bioturbazione o ad impatto. I calcari e le marne mostrano un caratteristico colore biancastro all’alterazione. Talora sono presenti liste e livelli di selce scura. Nella successione tipica della formazione sono state riconosciute porzioni nelle quali la parte marnosa, spesso foliata, diventa prevalente; pertanto la formazione può anche essere costituita da un’alternanza di marne grigie e nerastre spesso molto foliate e siltiti, calcari scuri, argilliti scure e calcareniti subordinate. Talora all’interno della formazione sono segnalati spessori fino a decametrici di argilliti prevalenti, con calcareniti sottili e calcari subordinati.

- **Descrizione geo-meccanica**

Nelle Tabelle 4.1 e 4.2 si riportano rispettivamente la classificazione e la caratterizzazione geo-meccanica dell’ammasso roccioso di Monte Morello; in particolare, data la variabilità spaziale del materiale, si considerano i valori minimo e massimo registrati lungo il tracciato della galleria.

*Tabella 4.1: Classificazione geo-meccanica del Monte Morello*

Classificazione			Valore Minimo	Valore Massimo
<b>Rock Mass Rating asciutto (BASE) (Beniawski, 1969)</b>	<b>RMR<sub>B</sub></b>	Indice	35	60-70
		Classe	IV	II
		Descrizione	SCADENTE	BUONA
<b>Geological Strength Index (Hoek, 1994; Marinos&amp;Hoek 2000)</b>	<b>GSI</b>	Indice	35	55-60
		Classe	C	A
		Descrizione	DISCRETA	BUONA

Tabella 4.2: Caratterizzazione geo-meccanica del Monte Morello

Parametro		Valore Minimo	Valore Massimo
Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta	$\sigma_{ci}$ [MPa]	40	85
Costante del Criterio di Rottura di Hoek-Brown per la roccia intatta	$m_i$	8	12
Peso di Volume	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	25	25.5
Coesione	$c'$ [kPa]	130-160	1400-1700
Angolo di resistenza al Taglio	$\phi$ [°]	48-50	55-62
Modulo di Deformabilità	$E_m$ [GPa]	2.0-2.7	12-16
Coefficiente di Poisson	$\nu$ [-]	0.3	0.3

- **Curva granulometrica**

Il campione di Monte Morello su cui sono state eseguite le prove di laboratorio è stato prelevato da una galleria, allora in corso di costruzione, situata nella stessa zona della galleria Santa Lucia. Precisamente il campione è stato ottenuto miscelando uniformemente blocchi di soli calcari e marne, senza considerare le porzioni calcarenitiche che, sebbene non risultino prevalenti, potrebbero essere presenti nella formazione tipica. Comunque questa scelta non inficia sui risultati ottenuti dalle prove.

I blocchi di roccia del campione, originariamente di dimensioni decimetriche, sono stati ridotti di dimensione mediante frantumazione (manuale o con frantoio a mascelle) fino ad avere un contenuto di fine (< 1 mm) dell'ordine del 12 ÷ 15% (Figura 4.1).



Figura 4.1: Campione di Monte Morello prima della frantumazione (sinistra) e dopo (destra)

Le curve granulometriche ottenute, riportate nel Grafico 4.1, rappresentano le dimensioni della matrice di roccia demolita dagli utensili da scavo (dischi), a meno dei frammenti più grossolani che si creano durante lo scavo. La loro definizione è avvenuta sulla base di una

ricerca bibliografica in merito alla granulometria del materiale abbattuto da una macchina con dischi da roccia in materiali rocciosi coesivi.

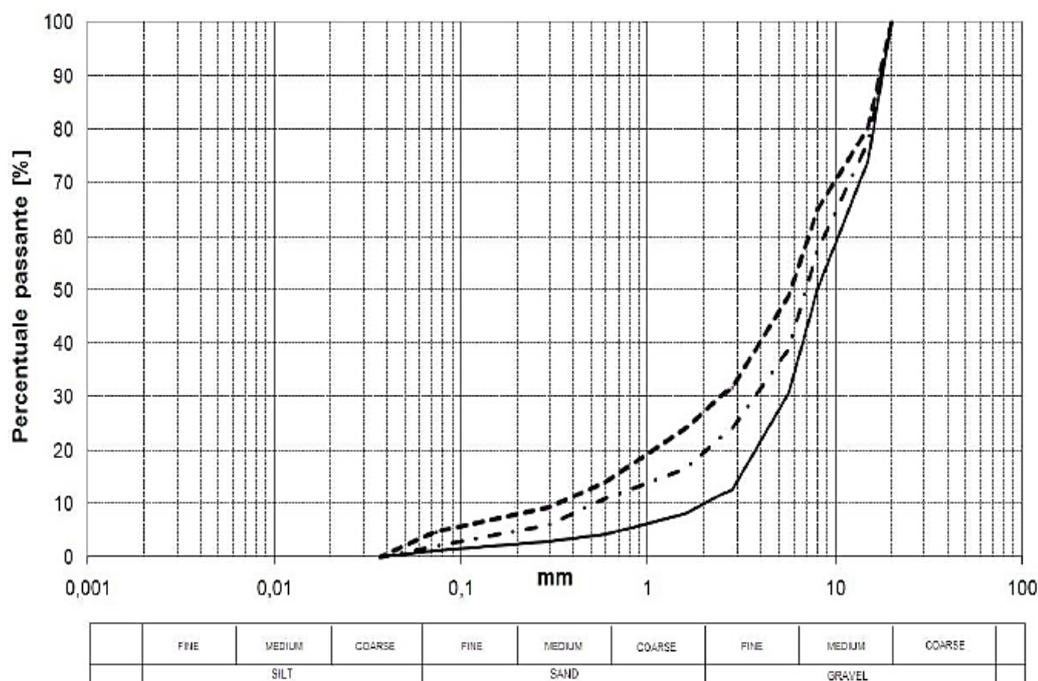


Grafico 4.1: Curve granulometriche della formazione di Monte Morello dopo la frantumazione

- **Contenuto d'acqua naturale e peso specifico**

Il contenuto d'acqua delle rocce della formazione di Monte Morello fornite al laboratorio, determinato tramite prove di umidità, è praticamente nullo. Invece il peso specifico del materiale sciolto è pari a  $1,5 \text{ kg/dm}^3$ .

#### 4.1.2 Formazione del Sillano

- **Descrizione geologica**

Alternanza di argilliti prevalenti, marne grigie e nerastre, siltiti grigio scure con calcari e calcari marnosi grigi, calcareniti prevalentemente sottili, fini di colore grigio, grigio-verdastro, calcari silicei verdastri. Il colore di alterazione dei calcari e delle calcareniti è frequentemente bruno e/o verdastro con patine scure. Le argilliti presentano una struttura scagliosa. In alcuni sondaggi sono stati individuati dei livelli di breccie argillitiche. Frequentemente gli strati dei litotipi più competenti, a causa della tettonizzazione, non mostrano continuità laterale tale da permettere di tracciarne con certezza i limiti. Nei sondaggi eseguiti le porzioni marnose siltose sono frequentemente molto foliate con

diffusissime patine lucide e con fissilità simile a quella delle argilliti. Nell'area interessata dalla galleria Santa Lucia sono state distinte due litofacies, oltre al Sillano propriamente detto, come di seguito descritto:

*Litofacies arenacea (SILar)*: Alternanza pelitico arenacea di calcareniti ed arenarie in strati da sottili a spessi, marne argillose e siltose da compatte a foliate ed argilliti di colore grigio e grigio scuro-nerastro. Subordinati calcari grigio chiari, al taglio fresco, e marrone giallastro con patine scure all'alterazione. Le calcareniti sono prevalentemente fini e subordinatamente medio-grossolane, di color grigio al taglio e marrone all'alterazione. Arenarie gradate da medio-fini a finissime, con impronte di fondo ben marcate abbastanza frequenti. Lo spessore della litofacies è di alcune decine di metri.

*Litofacies marnoso-calcareo (SILmc)*: Alternanza di marne grigie, grigio scure, calcari grigi ed argilliti. La continuità di questi corpi non è verificata ed i contatti con la formazione di Sillano sono ritenuti tettonizzati.

## **4.2 Prove di laboratorio sul condizionamento del terreno**

In questo paragrafo si descrivono teoricamente le prove di laboratorio soffermandosi anche sulla strumentazione utilizzata, mentre nel paragrafo 4.3 si illustra l'esecuzione pratica delle stesse e i risultati ottenuti.

### **4.2.1 Prova per la determinazione del FER**

La schiuma in laboratorio viene generata tramite un generatore di schiuma di tipo industriale (Figura 4.2). Tale sistema permette il controllo indipendente del flusso di acqua e del flusso di aria ed è dotato di un sistema di regolazione elettronico del dosaggio del tensioattivo. Quindi, impostati i parametri di funzionamento, a meno di oscillazioni modeste, è possibile ottenere campioni di schiuma con il FER definito a priori. Si ricorda che in laboratorio l'espansione della schiuma avviene a pressione atmosferica.

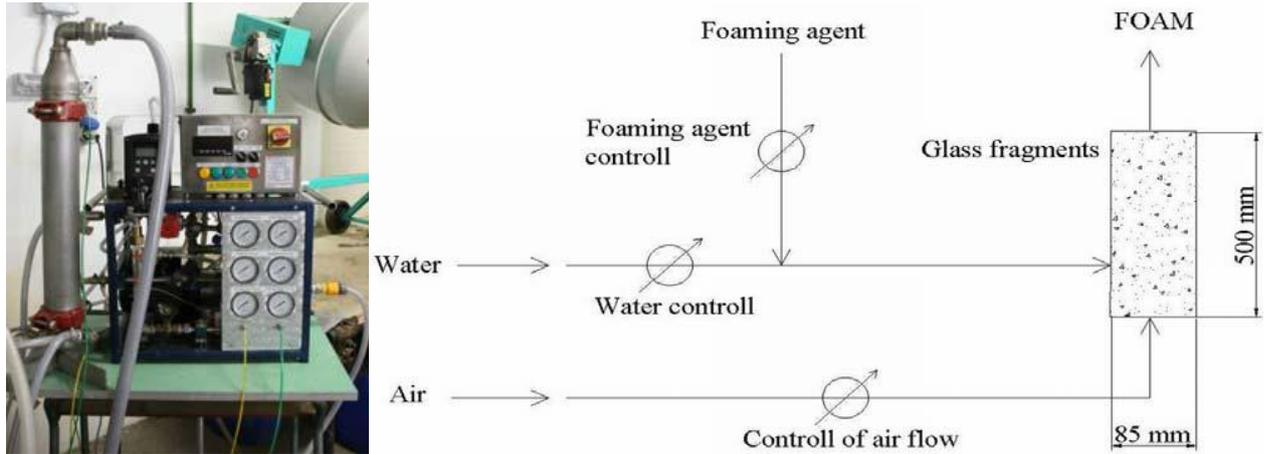


Figura 4.2: Generatore di schiuma utilizzato in laboratorio con relativo schema logico di generazione della schiuma

La prova per la determinazione del FER serve a verificare che effettivamente la schiuma generata è caratterizzata dal FER desiderato. Impostate le portate di liquido e di aria si attiva il sistema, si aspetta qualche minuto di produzione della schiuma e si preleva un campione con un contenitore di volume e peso noti, si pesa dunque il campione e si calcola il FER come:

$$FER = \frac{V_{contenitore}}{P_{totale} - P_{contenitore}}$$

#### 4.2.2 Prova di semivita

La prova di semivita permette di valutare il tempo di semivita della schiuma ( $t_{50}$ ). Deve essere condotta per ogni tipologia di schiuma utilizzata nelle prove di condizionamento.

La prova consiste nel versare un campione di schiuma di FER noto e di cui si è determinato il peso del liquido generatore in un imbuto sul cui fondo è installata una pietra porosa precedentemente portata a saturazione. Al di sotto dell'imbuto si predispone su una bilancia un recipiente di raccolta del liquido drenato dalla pietra porosa e attraverso l'uso di un cronometro si misura il tempo di semivita, ovvero il tempo che intercorre tra il contatto della schiuma con la pietra porosa e l'istante in cui nel recipiente si ha il 50% del peso del liquido generatore.

### 4.2.3 Prova di slump

La prova di slump è un metodo semplice e veloce per caratterizzare il comportamento del terreno condizionato. Tale prova prevede l'utilizzo del cono di Abrams ed è descritta dalle norme ASTM 143-C ed EN 1235 (la prova di slump è usata anche per i calcestruzzi).

La prova consiste nel versare nel cono il terreno precedentemente condizionato secondo le proporzioni desiderate; dopo un minuto, durante il quale avviene l'assestamento del materiale per effetto del peso proprio, si solleva il cono e si misura l'abbassamento della massa condizionata (Figura 4.3).

Inoltre si valuta anche la tipologia di movimento della massa, il suo comportamento globale in termini di plasticità e fluidità, prestando attenzione all'eventuale segregazione di acqua e/o di schiuma.

Queste prove possono essere eseguite sia in laboratorio, con l'obiettivo di definire i parametri ottimali del condizionamento, sia in sito come controllo del materiale condizionato.

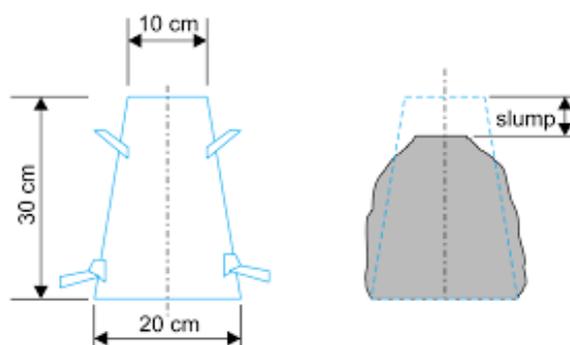


Figura 4.3: Schema della prova di slump e dimensioni del cono di Abrams

Secondo le osservazioni del comportamento del materiale durante la prova di slump possono essere identificate cinque tipologie di comportamento:

- Collasso irregolare e difficoltà nella formazione di un materiale “plastico”. Può essere dovuto a: un contenuto d’acqua e/o di schiuma insufficiente, un eccesso di schiuma e una insufficienza di acqua, una curva granulometrica non adatta al condizionamento (carenza di sabbia e limo o presenza di argilla);

- Rigido con valore di slump basso ma con la formazione di una massa plastica. E' un comportamento limite dovuto principalmente ad un contenuto di schiuma insufficiente (FIR troppo basso);
- Troppo fluido con rilevante segregazione di acqua e/o di schiuma dovuta ad un eccesso di tali componenti. E' un comportamento non idoneo;
- Plastico con una ridotta segregazione di acqua. La massa manifesta un comportamento limite;
- Plastico senza segregazione di acqua e schiuma con abbassamento regolare. In tal caso il condizionamento è ottimale.

La letteratura sulla caratterizzazione del materiale condizionato tramite prove di slump è molto ampia (Quebaud, 1996; Jancsecz et al., 1999; Leinala et al., 2000; Peña, 2003; EFNARC, 2005; Hanamura et al, 2007; Vinai et al., 2006). Sulla base dell'esperienza tecnica riportata in letteratura il valore di slump per un buon condizionamento deve ricadere tra i 10 e i 20 cm, ma per la valutazione della bontà del condizionamento, oltre al valore dell'abbassamento al cono, è indispensabile una valutazione qualitativa del comportamento del materiale.

Il vantaggio delle prove di slump sul materiale condizionato è senz'altro la facilità, la velocità e l'economicità dell'esecuzione della prova. Un limite è dovuto al fatto che, date le dimensioni limitate del cono di Abrams, non è possibile includere nella prova le frazioni granulometriche più grossolane del terreno scavato (che in realtà durante lo scavo si generano). L'altro limite della prova è la non rappresentatività dell'ambiente in camera di scavo (pressioni e temperatura).

Tuttavia, nonostante la loro semplicità, le prove di slump sono uno strumento di fondamentale importanza nello studio del comportamento del materiale condizionato.

#### **4.2.4 Prova di estrazione controllata con coclea da camera in pressione**

La prova, anche nota nella dizione inglese come *Screw Conveyor Device Test*, ha l'obiettivo di valutare l'idoneità del materiale condizionato ad essere estratto mediante coclea, ovvero simulare l'estrazione dalla camera di scavo e la capacità di applicare la pressione durante lo scavo con tecnologia EPB.

L'apparecchiatura sperimentale è stata progettata da Vinai et al. (2008) presso il Politecnico di Torino. Essa consiste in un serbatoio cilindrico metallico di diametro nominale 600 mm al quale è accoppiata una vite a coclea inclinata di 30° rispetto all'orizzontale, avente un diametro esterno di 168 mm, una lunghezza di 1500 mm e azionata da un motore elettrico (Figura 4.4). Il materiale condizionato, dopo essere versato nel serbatoio, è messo in pressione tramite un pistone idraulico connesso ad una piastra che grava su di esso.



Figura 4.4: Foto dell'apparato di estrazione controllata con coclea da camera in pressione

Inoltre, al fine di avere il controllo dei parametri di funzionamento, l'apparecchiatura è dotata di sensori. Infatti il serbatoio ha due sensori di pressione totale, uno sul fondo e uno sulla piastra di applicazione del carico (3 e 2), mentre un sensore di posizione misura l'estensione del pistone idraulico (1). La coclea è equipaggiata di tre sensori di pressione totale lungo il fusto (4, 5 e 6) e di un torsionometro per la misura della coppia richiesta dal materiale per l'estrazione (7). Infine il materiale estratto viene pesato mediante una cella di carico (8). Tutte le informazioni acquisite dai sensori sono raccolte mediante una centralina di acquisizione dati.

L'apparecchiatura sperimentale di estrazione controllata con coclea da camera in pressione è stata tarata su una sabbia campione e i risultati ottenuti dalle prove di taratura sono considerati come riferimento con cui confrontare i risultati delle prove su altri terreni. Le prove sulla sabbia campione e i relativi risultati sono illustrati nell'articolo "Soil

conditioning of sand for EPB applications: A laboratory research (Vinai R.; Oggeri C.; Peila D.)". Dalle prove di taratura, condotte su sabbia satura e su sabbia condizionata, è evidente che l'efficienza e le prestazioni dell'estrazione con coclea da camera in pressione migliorano in seguito al condizionamento.

I limiti di tale prova sono legati al fattore di scala, alle pressioni nel serbatoio ridotte rispetto a quelle reali in camera di scavo e a fattori operativi che possono essere diversi rispetto a quelli reali in macchina. Comunque essa fornisce delle chiare indicazioni sulla capacità del terreno condizionato a trasferire le pressioni in camera di scavo e ad essere estratto tramite la coclea.

### 4.3 Risultati delle prove di laboratorio sulla formazione di Monte Morello

Le prove sul condizionamento della formazione di Monte Morello sono state eseguite utilizzando due tensioattivi, definiti nel presente elaborato come tensioattivo A e tensioattivo B. Nelle prove la concentrazione del tensioattivo è stata del 2% o del 2,5% per entrambi i prodotti.

#### 4.3.1 Tempi di semivita delle schiume utilizzate

I test di semivita, eseguiti sulle schiume caratterizzate da diverso tensioattivo, concentrazione di tensioattivo del 2% e FER variabile, hanno fornito i tempi di semivita ( $t_{50}$ ) riportati in Tabella 4.3.

Tabella 4.3: Tempi di semivita per le diverse schiume con concentrazione 2% e FER variabile

		FER			
		≈7	≈10	≈13	≈17
<b>Tensioattivo A</b>	$t_{50}$ [s]	124	143	225	340
<b>Tensioattivo B</b>	$t_{50}$ [s]	120	180	240	360

### 4.3.2 Risultati della campagna di prove di slump

L'obiettivo di una campagna di prove di slump è la definizione dei parametri ottimali del condizionamento, pertanto le prove sono state eseguite con valori di FER e FIR variabili (valori di FER compresi tra 6 e 15), e un'aggiunta di acqua, oltre quella naturale, compresa tra lo 0% e il 5%. Invece la concentrazione di tensioattivo si è mantenuta fissa al 2% per entrambi i tensioattivi. Si ricorda che il contenuto d'acqua naturale del Monte Morello è praticamente nullo.

Al fine di avere delle condizioni di riferimento con le quali confrontare i risultati ottenuti, per l'interpretazione dei risultati delle prove di slump è stata usata la tabella interpretativa riportata in Figura 4.5.

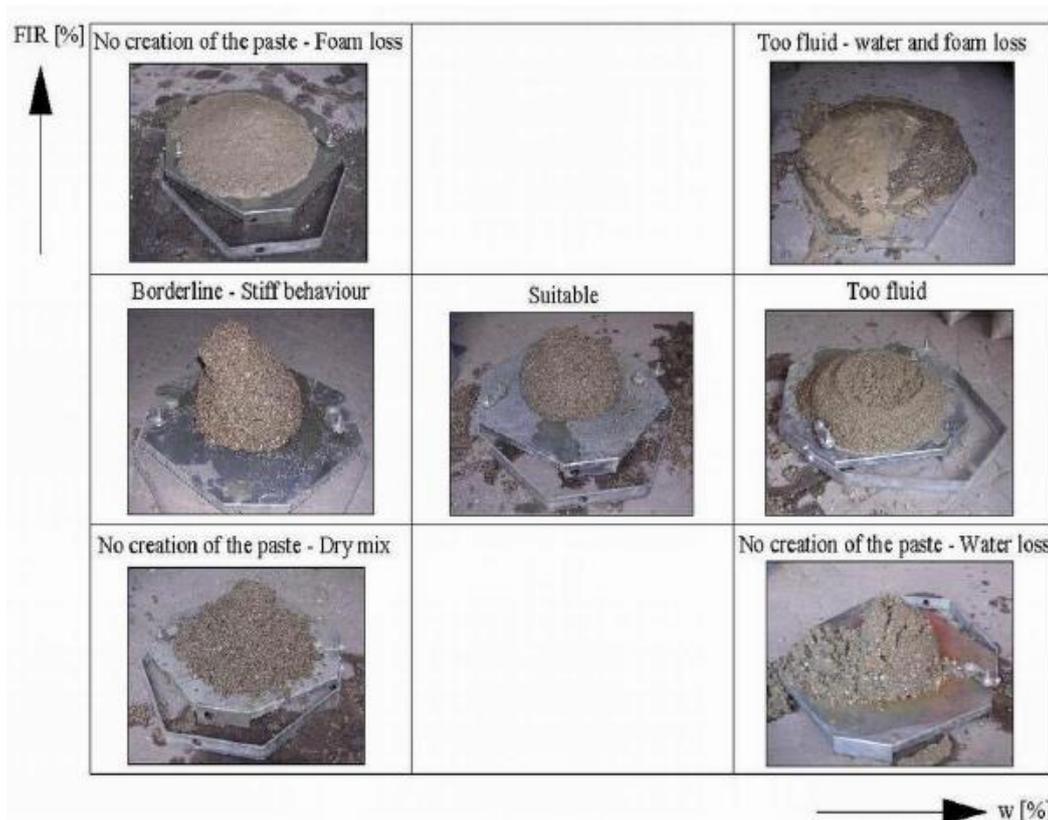


Figura 4.5: Tabella interpretativa per la definizione del comportamento del materiale condizionato tramite prove di slump

In dettaglio nella definizione del comportamento del materiale condizionato sono stati analizzati i seguenti aspetti tecnici, ritenuti essenziali per un corretta applicazione della tecnologia EPB:

- 1) la presenza di plasticità che renda idoneo il terreno condizionato alla trasmissione delle pressioni in camera di scavo e lungo la coclea, nonché all'estrazione controllata con la coclea stessa;
- 2) la presenza di un basso livello di attrito interno del materiale stesso per ridurre sia la potenza della testa di scavo sia l'usura delle parti che vengono a contatto con il terreno;
- 3) la persistenza di cui ai punti 1) e 2) nel tempo per permettere operazioni ricorrenti, quali il montaggio dell'anello, o eccezionali, quali fermi macchina per qualunque motivo, in piena sicurezza relativamente alla stabilità del fronte di scavo.

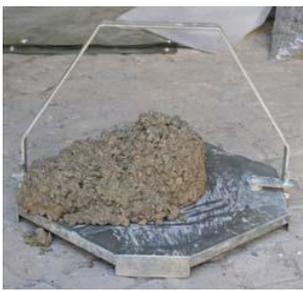
La procedura seguita per l'esecuzione delle prove di slump per ogni combinazione di FER e FIR è la seguente:

- un quantitativo di materiale naturale di peso noto (in tal caso 10 kg) si versa nel dispositivo di miscelazione (betoniera) e si aggiunge il quantitativo d'acqua, oltre quella naturale, necessario ad ottenere il contenuto d'acqua aggiunta prefissato;
- si genera la schiuma impostando sul generatore di schiuma i parametri necessari ad ottenere il FER desiderato;
- scelto il valore di FIR con cui eseguire la prova, si calcola il peso di schiuma corrispondente e quindi si campiona e si pesa il volume di schiuma necessario per ottenere il FIR voluto, infine lo si versa nella betoniera dove si miscela col terreno;
- il materiale così condizionato viene immesso in un cono di Abrams, che dopo circa un minuto viene sollevato e si registra la misura dell'abbassamento al cono prestando attenzione al comportamento della massa.

### **Prove di slump utilizzando il tensioattivo A**

In Tabella 4.4 si riportano i risultati ottenuti dalle prove di slump effettuate subito dopo il condizionamento del terreno, mentre in Tabella 4.5 i risultati di ulteriori prove realizzate al fine di indagare i possibili effetti del tempo e della temperatura sulla stabilità del materiale condizionato. Inoltre è stata eseguita una prova utilizzando un materiale con una percentuale di fine (< 1 mm) del 5% contro il 12% degli altri campioni al fine di valutarne l'influenza.

Tabella 4.4: Prove di slump con l'uso del tensioattivo A

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
0	0	...	...	...	22	Il materiale risulta del tutto incoerente	
3	45	10	30	0,6	14	Discreta pastosità del materiale condizionato	
3	45	15	40	0,55	15	Discreta pastosità del materiale condizionato	
5	75	15	30	0,4	13	Condizionamento discreto per carenza di schiuma nella formazione della pasta	
3	45	15	40	0,55	19	Percentuale di fine (<1mm) del 5%. Eccesso di schiuma in rapporto al fine presente. Non possibile ottenere una buona pastosità	

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
5	75	15	20	0,26	16	Condizionamento discreto, ma schiuma non sufficiente. Prevalente azione dell'acqua	
3	45	15	25	0,33	17	Condizionamento discreto, materiale discretamente pastoso	
3	45	15	35	0,46	17	Comportamento buono, è presente un limitato eccesso di schiuma	
2	30	15	50	0,66	19	Eccesso di schiuma nell'impasto, comportamento fluido del mix schiuma-terreno	

Tabella 4.5: Prove di slump con l'uso del tensioattivo A. Effetti del tempo e della temperatura

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
3	45	15	35	0,46	17	Comportamento buono, è presente un limitato eccesso di schiuma	
3	45	15	35	0,46	17	Stesso mix della prova precedente ma mantenuto nel cono 30 min. Il comportamento rimane buono, le bolle permangono	
3	45	15	35	0,46	19	Stesso mix delle due prove precedenti ma mantenuto nel mixer in funzione 30 min. Schiuma asciugata e materiale sciolto	
2	30	15	50	0,66	19	Eccesso di schiuma nell'impasto, comportamento fluido del mix schiuma-terreno	
2	30	15	50	0,66	14	Stesso mix della prova precedente ma mantenuto nel cono 30 min. Il comportamento è buono, le bolle permangono	

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
2	30	15	50	0,66	14	Stesso mix delle due prove precedenti ma mantenuto in forno a 50°C per 30 min. Materiale molto asciugato, non più pastoso	

### Conclusioni sulle prove di slump eseguite utilizzando il tensioattivo A

Dall'analisi dei risultati delle prove di slump effettuate sulla formazione di Monte Morello utilizzando il tensioattivo A è possibile concludere che:

- l'aggiunta di schiuma è assolutamente necessaria per il condizionamento del terreno poiché l'introduzione della sola acqua non è sufficiente per fornire al materiale un comportamento pastoso;
- la percentuale di acqua aggiunta per un buon condizionamento a tempo immediato deve essere compresa tra il 2% ed il 5%, oltre queste percentuali il fine presente nel terreno non risulta essere in grado di assorbire l'acqua in eccesso e non è più possibile fornire al terreno un comportamento pastoso;
- il valore di FIR della schiuma, con FER=15, per ottenere un discreto comportamento del mix subito dopo il condizionamento è circa il 40%, oltre questo valore il materiale inizia a presentare un'eccessiva fluidità;
- i fattori tempo e temperatura suggeriscono di incrementare la quantità di schiuma, in quanto dopo 30 minuti di permanenza nel mixer oppure in forno a 50 °C, il materiale definito buono subito dopo la miscelazione ha perso buona parte delle sue caratteristiche di pastosità. Questo incremento è valutabile in un ulteriore 20% di FIR.

Nel Grafico 4.2 si riportano le coppie contenuto d'acqua (w) – FIR dei campioni soggetti alla prova di slump subito in seguito al condizionamento (tempo  $t_0$ ).

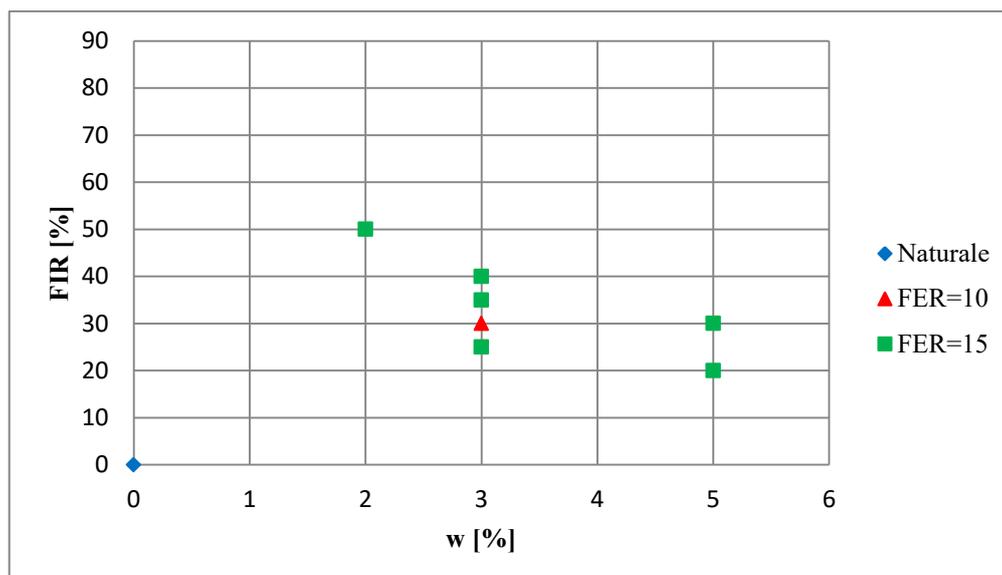


Grafico 4.2: Quadro riassuntivo delle prove di slump con l'uso del tensioattivo A effettuate a  $t_0$

### Prove di slump utilizzando il tensioattivo B

In Tabella 4.6 si riportano i risultati ottenuti dalle prove di slump effettuate subito dopo il condizionamento del terreno, mentre in Tabella 4.7 i risultati di ulteriori prove realizzate al fine di indagare i possibili effetti del tempo e della temperatura sulla stabilità del materiale condizionato.

Tabella 4.6: Prove di slump con l'uso del tensioattivo B

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
4	60	15	40	0,53	20	Comportamento non ottimale, schiuma e/o acqua in eccesso	
2	30	15	30	0,4	16	Comportamento discreto, creazione della pasta non ottimale	

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
0	0	15	80	1,07	15	Buon condizionamento del materiale	
2	30	15	40	0,53	18	Discreto condizionamento del materiale, difficoltà nell'attribuire caratteristiche di pastosità	
2	30	15	50	0,66	21	Schiuma in eccesso, ma non si nota eccessiva perdita di liquido dal materiale	
2	30	15	40	0,53	19	Presenza di schiuma in eccesso, condizionamento non buono. Utilizzato un diverso agente schiumogeno poi accantonato	
2	30	15	30	0,4	18	Condizionamento discreto del materiale. Utilizzato un diverso agente schiumogeno poi accantonato	

Tabella 4.7: Prove di slump con l'uso del tensioattivo B. Effetti del tempo e della temperatura

Acqua aggiunta [%]	Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	FER [-]	FIR [%]	Additivo aggiunto [l/m <sup>3</sup> ]	Slump [cm]	Commenti	Foto
2	30	15	50	0,66	21	Schiuma in eccesso, ma non si nota eccessiva perdita di liquido dal materiale	
2	30	15	50	0,66	20	Materiale della prova precedente ma mantenuto 30 min nel mixer. Meno schiuma libera ma ancora un po' troppo liquido	
2	30	15	50	0,66	20	Materiale delle due prove precedenti ma mantenuto 30 min nel cono. Meno schiuma libera ma ancora troppo liquido	
2	30	15	50	0,66	20	Materiale delle tre prove precedenti ma fatto girare in betoniera pulita. Schiuma completamente asciugata e materiale sciolto	
2	30	15	50	0,66	19	Materiale delle prove precedenti ma mantenuto in forno a 50 °C per 30 min. Materiale molto asciugato, non più pastoso	

### Conclusioni sulle prove di slump eseguite utilizzando il tensioattivo B

Dall'analisi dei risultati delle prove di slump effettuate sulla formazione di Monte Morello utilizzando il tensioattivo B è possibile constatare che il comportamento del materiale condizionato è del tutto simile a quello rilevato utilizzando il tensioattivo A, sia in termini di acqua aggiunta (2%) sia di FIR, che anche in questo caso si attesta intorno ad un valore del 40% per gli slump effettuati subito dopo il condizionamento e richiede un ulteriore 20% quando entrano in gioco gli effetti del tempo e della temperatura.

Si nota che in tal caso il FER è stato mantenuto costante al valore di 15.

Nel Grafico 4.3 si riporta un quadro riassuntivo dei valori di contenuto d'acqua (w) – FIR dei campioni soggetti a prova di slump subito dopo il condizionamento utilizzando il tensioattivo B.

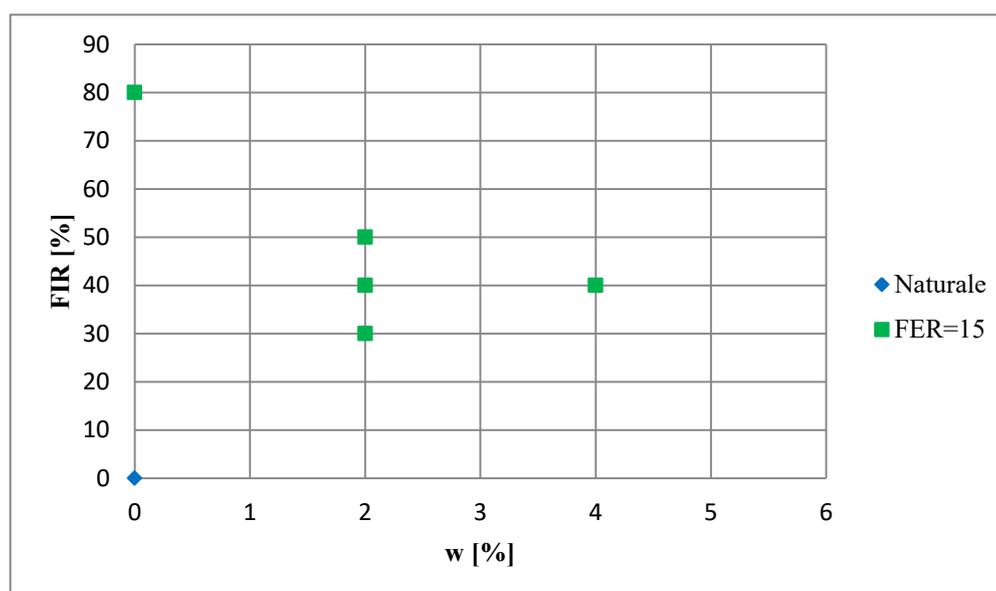


Grafico 4.3: Quadro riassuntivo delle prove di slump con l'uso del tensioattivo B effettuate a  $t_0$

### 4.3.3 Risultati delle prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione

Le prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione svolte sui calcari della formazione di Monte Morello e i relativi risultati sono illustrati nell'articolo "Earth pressure balance tunnelling in rock masses: Laboratory feasibility study of the conditioning process (Peila D., Picchio A., Chierigato A.)", a cui si è fatto riferimento in tale trattazione.

Sulla base dei risultati delle prove di slump, le prove di estrazione con coclea sono state eseguite con due differenti livelli di condizionamento, i cui parametri sono riassunti in Tabella 4.8.

La velocità di rotazione della vite a coclea in entrambe le prove è stata mantenuta costante a 6 rpm (rounds per minute: giri al minuto).

Tabella 4.8: Parametri del condizionamento per le prove di estrazione con coclea

Prova	$P_{\text{terreno}}$ [kg]	$w_{\text{agg}}$ [%]	$w_{\text{agg}}$ [l/m <sup>3</sup> ]	Tensioattivo	c [%]	FER [-]	FIR [-]
MML-A	325	3	45	A	2,0	15	40
MML-B	325	3	45	B	2,5	15	70

Il materiale condizionato viene lasciato per 30 minuti nel serbatoio prima dell'estrazione al fine di simulare l'intervallo di tempo che il materiale scavato rimane in camera di scavo in una TBM di tipo EPB prima di entrare nella coclea.

Come mostra la Figura 4.6, durante la prova MML-A si è formata nel serbatoio una cavità intorno alla vite a coclea, stabile per l'effetto arco, pertanto non avveniva l'estrazione del materiale. Invece nella prova MML-B la maggiore quantità di schiuma iniettata rende il materiale idoneo all'estrazione.



Figura 4.6: Cavità nel materiale creata dalla rotazione della coclea

Nei Grafici 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 si riportano i dati registrati durante entrambe le prove di estrazione. Il Grafico 4.4 mostra la differenza nella trasmissione delle pressioni tra la prova MML-A, in cui il materiale è talmente rigido da non permettere un costante incremento di pressione in un tempo breve, e la prova MML-B, in cui il materiale più plastico garantisce la trasmissione della pressione. Per entrambe le prove la pressione teorica nel serbatoio è stata impostata a 90 kPa, ma nella prova MML-A il tempo necessario per raggiungere tale valore è troppo elevato, ciò è dovuto ad un'eccessiva rigidità del materiale che non permette la trasmissione delle pressioni.

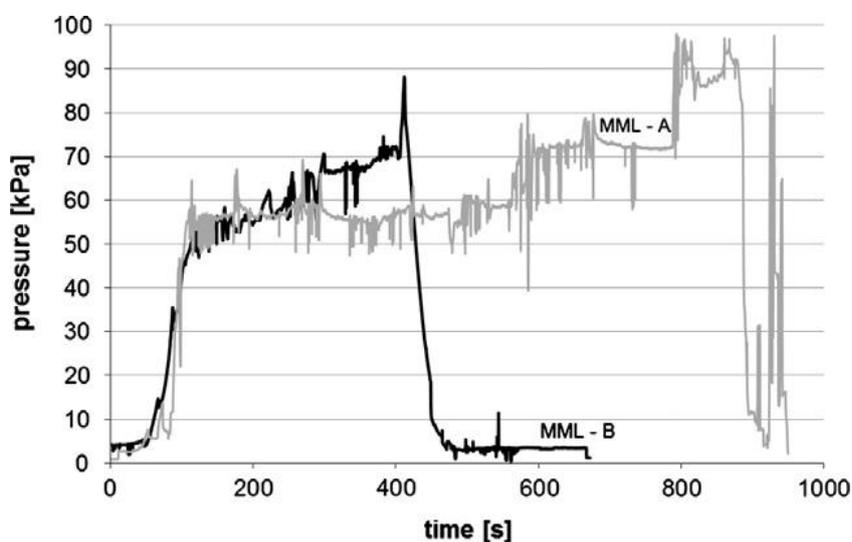


Grafico 4.4: Pressione sulla piastra di carico del serbatoio durante le due prove

Osservando gli andamenti della coppia applicata alla vite a coclea riportati nel Grafico 4.5, si evince che nella prova MML-A in seguito alla formazione della cavità la coclea è vuota, pertanto la coppia diventa praticamente nulla; invece nella prova MML-B la coppia aumenta con la pressione nel serbatoio.

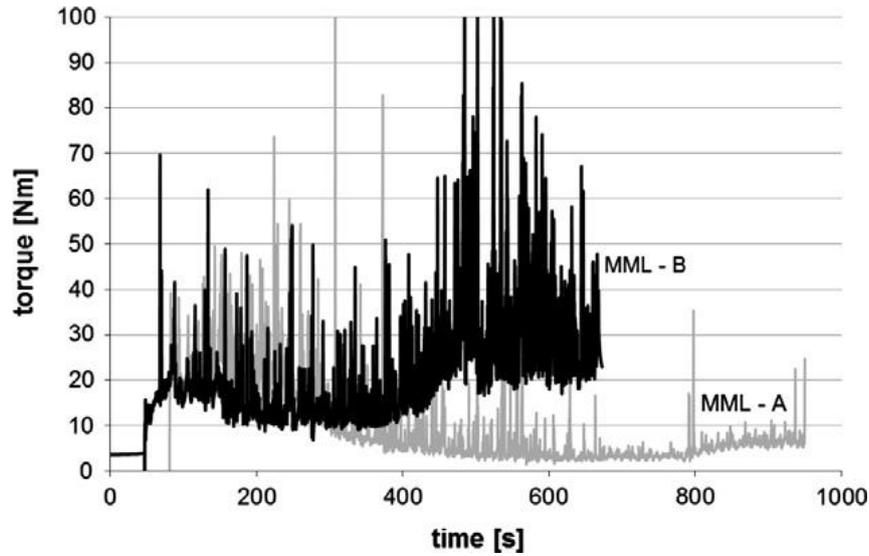


Grafico 4.5: Coppia applicata alla vite a coclea durante le due prove

Come mostrato nel Grafico 4.6, nella prova MML-A la rigidità del materiale impedisce l’abbassamento del pistone e di conseguenza limita la capacità di estrazione della coclea; al contrario nella prova MML-B il gradiente di spostamento del pistone è pressoché lineare e costante.

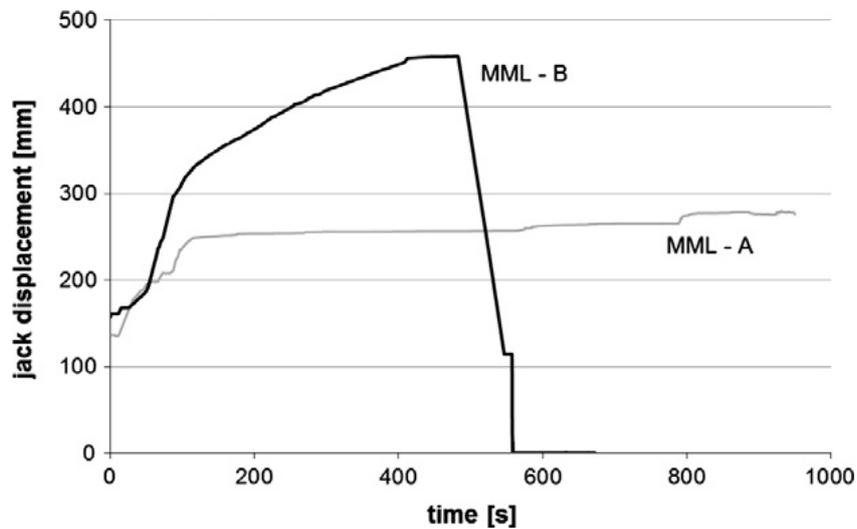


Grafico 4.6: Spostamento del pistone di carico durante le due prove

Il Grafico 4.7 mostra l’andamento delle pressioni lungo la coclea durante le due prove. Nella prova MML-A, data la creazione della cavità stabile all’entrata della coclea, non si ha trasmissione delle pressioni lungo la coclea. Invece nella prova MML-B si manifesta una riduzione costante della pressione dalla cella più vicina al serbatoio (cella 1) fino a quella all’uscita (cella 3), confermando un buon condizionamento del materiale.

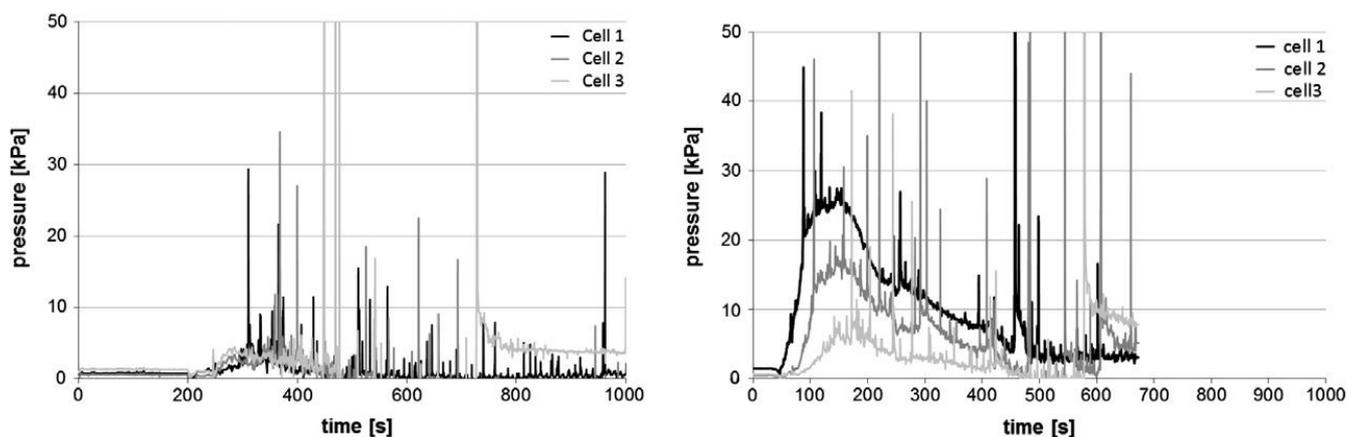


Grafico 4.7: Pressione lungo la coclea durante la prova MML-A (a sinistra) e la prova MML-B (a destra)

Inoltre, al fine di valutare l'effetto dell'estrazione sulla qualità del materiale, durante la prova MML-B è stata eseguita una prova di slump prima dell'estrazione e una subito dopo. I risultati delle prove di slump, riportati in Figura 4.7, mostrano che l'estrazione mediante coclea non altera la qualità del materiale.



Figura 4.7: Prove di slump prima e dopo l'estrazione del materiale nella prova MML-B

#### 4.3.4 Commenti finali sui risultati delle prove di laboratorio svolte

Confrontando i risultati ottenuti dalle prove di slump con quelli forniti dalle prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione, si nota che i parametri ottimali di condizionamento definiti dalle prove di slump sono conservativi. Infatti il set dei parametri ottimali ( $w_{agg} = 2 \div 3\%$ ,  $FER = 15$ ,  $FIR = 40\%$ ), per cui il materiale dalle prove di slump risultava ben condizionato subito dopo la miscelazione, in realtà non rende possibile l'estrazione con coclea da camera in pressione. Tuttavia, anche i risultati delle prove di slump eseguite per valutare gli effetti del tempo e della temperatura avevano predetto che era necessario un incremento del valore del FIR.

In conclusione si può affermare che il condizionamento adottato per la prova di estrazione MML-B ( $w_{agg} = 3\%$ ,  $FER = 15$ ,  $FIR = 70\%$ ) fornisce buoni risultati sia in termini di estrazione con coclea sia di qualità del materiale condizionato.

Si sottolinea che i parametri del condizionamento definiti dalle prove di laboratorio sono da intendersi innanzitutto come un risultato positivo alla fattibilità del condizionamento, ovvero all'applicabilità della tecnologia EPB per lo scavo della galleria in esame, e allo stesso tempo come dei valori di partenza e di riferimento per il condizionamento del terreno in sito.

## 5. Prove in sito sul condizionamento durante lo scavo

Una stessa formazione geologica può variare lungo il tracciato della galleria in termini di composizione delle rocce (o delle terre) costituenti, di grado di fratturazione, di alterazione e di contenuto d'acqua naturale, pertanto in sito si possono ritrovare delle condizioni diverse rispetto a quelle definite in laboratorio. Durante lo scavo è quindi necessario adattare il condizionamento alle condizioni reali.

Infine si ricorda anche che le informazioni sulla granulometria attesa dello smarino (la quale influenza il comportamento del materiale condizionato) derivano da risultati bibliografici ottenuti da alcuni casi reali che, per quanto attendibili, potrebbero discostarsi rispetto al caso in esame.

Al fine di valutare il comportamento del materiale condizionato, durante lo scavo di un tratto di galleria nella formazione di Monte Morello si è condotta una campagna di prove di slump in sito, associata ad un monitoraggio dei parametri del condizionamento (acqua aggiunta, volume di schiuma, ecc...) e dei parametri di avanzamento della macchina (durata dello scavo, forza netta, coppia della testa di scavo, penetrazione).

### 5.1 Galleria Santa Lucia

La galleria Santa Lucia è una galleria autostradale in corso d'opera sul tratto A1 tra gli svincoli di Barberino del Mugello e Calenzano (FI) e attraversa l'Appennino Tosco-Emiliano per una lunghezza di circa 7,5 km. La copertura della galleria varia lungo il tracciato da un valore minimo di 10 m fino ad un valore massimo di 270 m.

E' realizzata mediante la TBM EPB S-900, costruita dalla società Herrenknecht, avente un diametro di scavo di circa 16 m (precisamente 15,935 m), una sezione di scavo di circa 200 m<sup>2</sup> e una lunghezza complessiva di circa 130 m.

La testa di scavo, mostrata in Figura 5.1, è equipaggiata con dischi di taglio da 19'' singoli e doppi, raschiatori e alesatori. Essa è anche attrezzata con sensori che rilevano l'usura degli utensili. Per garantire un condizionamento omogeneo del terreno al fronte, sulla testa sono distribuiti opportunamente vari punti di iniezione di schiuma e di acqua.

L'anello di rivestimento, di tipo universale, è formato da 9 conchi prefabbricati in calcestruzzo armato aventi lunghezza 2,2 m, spessore 55 cm e peso di circa 16 t per ogni conchio.



*Figura 5.1: Testa di scavo della TBM EPB impiegata per lo scavo della galleria Santa Lucia*

La coclea, avente una lunghezza di circa 23 m e un diametro di 1,6 m, estrae il materiale dalla camera di scavo e lo riversa su un sistema di nastri trasportatori, che trasportano e scaricano lo smarino in delle apposite vasche di stoccaggio temporaneo in cui avviene l'aerazione che permette la biodegradazione del tensioattivo. Per controllare le pressioni del materiale nella fase di estrazione, la coclea è dotata lungo la sua estensione di celle di pressione.

Data la grande dimensione della sezione di scavo, la camera di scavo è dotata di agitatori, che sono delle pale rotanti, posizionate nella parte centrale, aventi la funzione di favorire la miscelazione del materiale scavato con gli agenti condizionanti ed evitarne la ricompattazione.

Una particolarità di questa TBM è la dotazione di un sistema per la gestione dei gas, in quanto la galleria è scavata in un ambiente grisutoso, per cui vi è il rischio di incontrare delle sacche di gas formatesi nel terreno.

Come già detto, la litologia attraversata dalla galleria è costituita dalle formazioni geologiche di Monte Morello e di Sillano, entrambe precedentemente caratterizzate nel paragrafo 4.1.

Il monitoraggio del condizionamento del terreno e le prove in sito sono state eseguite sul tratto di galleria compreso tra l'anello 1233 (Progr. 6km+142m) e l'anello 1607 (Progr. 6km+967m) per una lunghezza di circa 820 m, in cui la formazione geologica incontrata è il Monte Morello.

Il profilo geo-meccanico del tratto di galleria in esame è riportato in Figura 5.2.

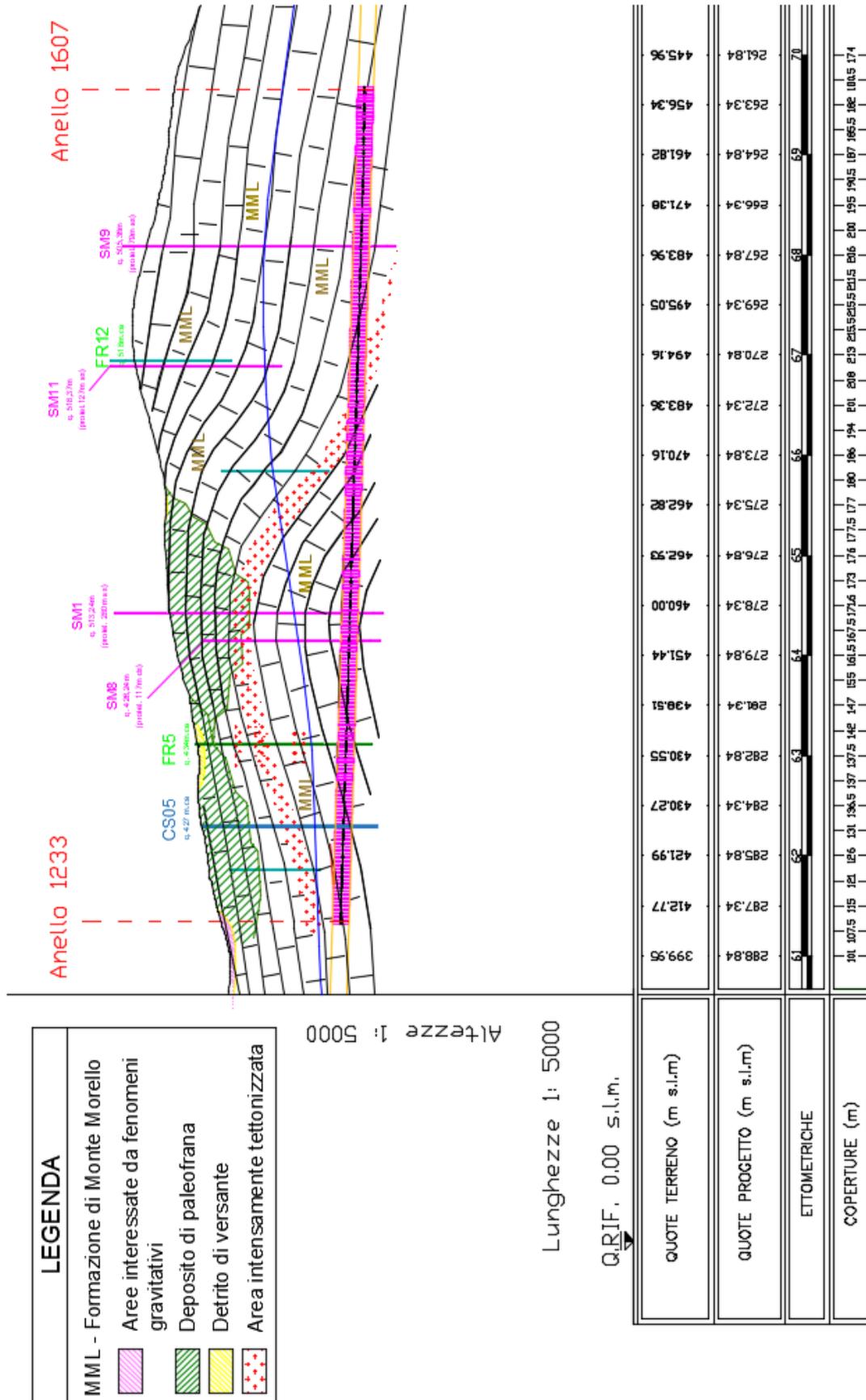


Figura 5.2: Profilo geo-meccanico del tratto di galleria in esame

## 5.2 Parametri di controllo

La macchina è dotata di un sistema elettronico di controllo, collegato al software TPC (Tunnelling Process Control), che permette di gestire e registrare una grande quantità di dati in tempo reale.

I parametri monitorati durante lo scavo di ogni anello del tratto in esame sono:

- *Parametri di avanzamento*: durata dello scavo, forza netta, coppia della testa di scavo, penetrazione;
- *Pressioni e temperature in camera di scavo*;
- *Parametri del condizionamento*: quantità di tensioattivo, concentrazione del tensioattivo, volume della schiuma, volume d'acqua aggiunta, FER, FIR, TR.

Per avanzamento si intende la fase di scavo relativa ad ogni anello successivamente installato.

Di seguito si descrivono brevemente alcune delle grandezze sopra citate.

La *durata dello scavo* è la durata effettiva di scavo impiegata per completare l'avanzamento, ovvero il tempo in cui la testa di scavo ruota demolendo il materiale. Si specifica ciò perché durante la fase di avanzamento possono insorgere dei guasti tecnici che non consentono alla macchina di scavare, e quindi devono essere risolti il più presto possibile. Tale grandezza dipende dalla penetrazione e dalla velocità di rotazione della testa di scavo.

La *forza netta* viene calcolata come la differenza della risultante delle forze agenti sui vari gruppi dei pistoni di spinta e della risultante delle forze agenti sui pistoni di spostamento, i quali risentono delle pressioni in camera di scavo, in quanto per il principio di azione e reazione le pressioni di stabilizzazione del fronte si oppongono all'avanzamento. Rappresenta dunque la forza necessaria alla demolizione del terreno naturale al fronte. Chiaramente dipende dalla durezza della roccia e dalle pressioni in camera di scavo.

$$F_{netta} = R_{pistoni\ di\ spinta} - R_{pistoni\ di\ spostamento}$$

La *penetrazione* indica quanto gli utensili di scavo penetrano nel fronte per ogni rotazione della testa di scavo, ovvero quanto si scava in ogni rotazione. Dipende dalla qualità della roccia al fronte e dalla forza netta.

La *coppia della testa di scavo* è il momento torcente applicato dai motori sulla testa di scavo. Dipende dalla velocità di rotazione della testa di scavo (nel caso in esame fissata a 1,5 rpm), dalla forza netta (all'aumentare di  $F_{netta}$  aumenta anche la coppia), e soprattutto dalla plasticità e dalla fluidità del materiale all'interno della camera di scavo, in quanto se il materiale è rigido serve una potenza maggiore per far ruotare la testa al numero di giri al minuto prefissato.

Le *pressioni in camera di scavo* vengono misurate per mezzo di trasduttori di pressione (celle di pressione), installati a vari livelli e varie posizioni sulla parete di contenimento. Si precisa che i trasduttori di pressione impiegati rilevano la pressione relativa. In particolare si è fatto riferimento alla *pressione di supporto al fronte*, calcolata come la media delle pressioni registrate sull'asse orizzontale della parete di contenimento (Figura 5.3). La regolazione delle pressioni in camera di scavo avviene intervenendo sulla velocità di avanzamento e/o sulla velocità di rotazione della coclea.

$$P_{supporto\ al\ fronte} = media\ pressioni\ sull'asse\ orizzontale$$

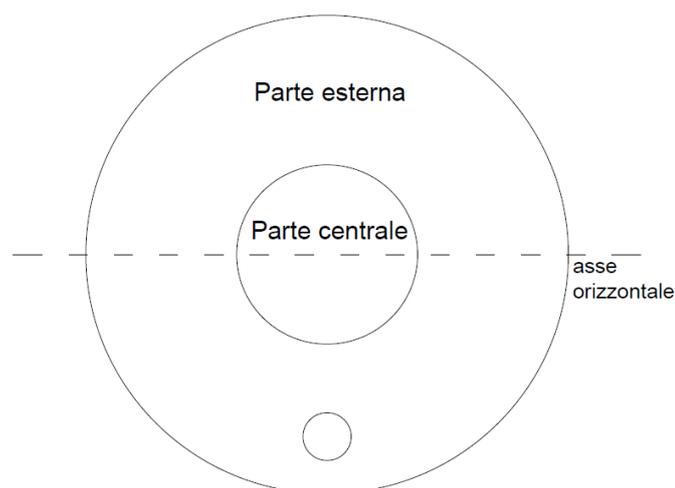


Figura 5.3: Schema della parete di contenimento

La *temperatura in camera di scavo* viene rilevata per mezzo di misuratori di temperatura, anch'essi installati sulla parete di contenimento in varie posizioni. Si distinguono due temperature: la temperatura nella parte centrale e la temperatura nella parte esterna della

parete di contenimento (Figura 5.3). Normalmente la temperatura nella parte centrale è maggiore rispetto a quella nella parte esterna, perché in tale zona le aperture della testa di scavo sono di dimensione ridotta e quindi il ricambio del materiale è limitato. Un aumento delle temperature può essere dovuto ad un impaccamento del materiale tra le aperture della testa con conseguente otturazione delle stesse, ad un materiale più duro e abrasivo, o ad un'eccessiva usura degli utensili di scavo.

Si ricorda che le pressioni e le temperature in camera di scavo giocano un ruolo importante nel condizionamento del terreno, perché al variare delle pressioni varia l'espansione della schiuma e perché all'aumentare della temperatura la schiuma tende ad asciugare rapidamente (le bolle non permangono nel tempo), per cui diventa instabile.

Relativamente ad ogni anello per la forza netta, la coppia di scavo, la pressione di supporto al fronte e le temperature si sono calcolati i valori medi dei valori istantanei registrati durante lo scavo.

Invece per quanto riguarda i parametri del condizionamento, già trattati nel Capitolo 3, si specifica che la concentrazione del tensioattivo è stata valutata come la media dei valori istantanei registrati durante lo scavo, mentre per il volume di tensioattivo, il volume di schiuma e il volume di acqua aggiunta si sono considerati i valori cumulati a fine avanzamento.

In particolare il *volume di acqua aggiunta*, iniettata al fronte e in camera di scavo, è stato calcolato come differenza tra il volume di acqua totale consumata per il condizionamento (comprendente anche l'acqua impiegata nella generazione della schiuma) e il volume d'acqua relativa alle schiume, definita a sua volta dalla differenza tra il volume del liquido generatore e il quantitativo di tensioattivo.

$$V_{acqua\ agg} = V_{acqua\ tot.cond} - V_{acqua\ schiuma} = V_{acqua\ tot.cond} - (V_{liq.gen} - V_{tens})$$

Così si definisce *acqua aggiunta* il volume d'acqua iniettata rapportato al volume di terreno scavato allo stato sciolto, espressa in  $[l/m^3]$ .

$$Acqua_{agg} = \frac{V_{acqua\ agg}}{V_{terreno\ scavato,s}}$$

Il valore dei vari parametri per ogni avanzamento viene riportato negli Allegati 1 e 2.

### 5.2.1 Calcolo dei parametri di caratterizzazione della schiuma FER, FIR, TR

La generazione della schiuma in macchina avviene su varie linee, ciascuna impostata ad un valore di FER teorico pari a 10. Teoricamente questo valore è relativo alla condizione di pressione in camera di scavo e in realtà il FER viene mantenuto intorno al valore prefissato andando a regolare il flusso di liquido (acqua + tensioattivo) e il flusso d'aria.

In Figura 5.4 si mostrano i due tipi di generatori di schiuma installati nel sistema di generazione della schiuma, il cui interno è riempito con lana d'acciaio al fine di creare turbolenza.

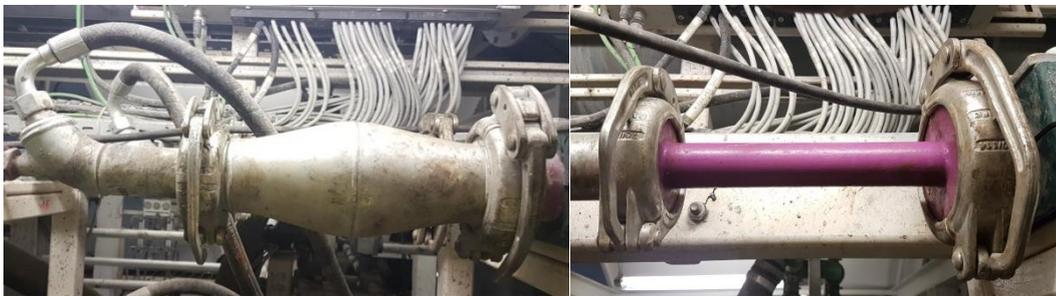


Figura 5.4: Generatori di schiuma installati sulla TBM EPB S-900

Il volume di schiuma in condizioni di pressione atmosferica ( $V_{schiuma,0}$ ) relativo allo specifico avanzamento è stato calcolato a partire dai valori medi del flusso d'aria e del flusso di liquido generatore di ogni linea di schiuma, moltiplicandoli per la durata dello scavo. In realtà i flussi d'aria e di liquido oscillano durante lo scavo, tuttavia queste oscillazioni sono modeste (Grafico 5.1 e 5.2). Si specifica che i flussi d'aria, misurati da flussimetri, sono relativi alla condizione di pressione atmosferica.

$$V_{schiuma,0} = \sum (media \text{ flusso aria} + media \text{ flusso liquido}) \cdot durata \text{ scavo} = \\ = V_{aria,0} + V_{liquido}$$

dove  $V_{aria,0}$  è il volume d'aria in condizioni di pressione atmosferica e  $V_{liquido}$  il volume del liquido generatore (volume acqua + volume tensioattivo), ritenuto incompressibile.

Noti il volume d'aria in condizioni di pressione atmosferica, il volume di liquido generatore e la pressione di supporto al fronte, è possibile calcolare il volume di schiuma

relativo alle pressioni in camera di scavo ( $V_{schiuma,p}$ ) applicando la legge di Boyle al volume d'aria.

$$V_{schiuma,p} = V_{liquido} + V_{aria,p} = V_{liquido} + V_{aria,0} \cdot \frac{P_{atm}}{P_{atm} + p_{supp.fronte}}$$

$$P_{atm} = 1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar} \cong 1 \text{ bar}$$

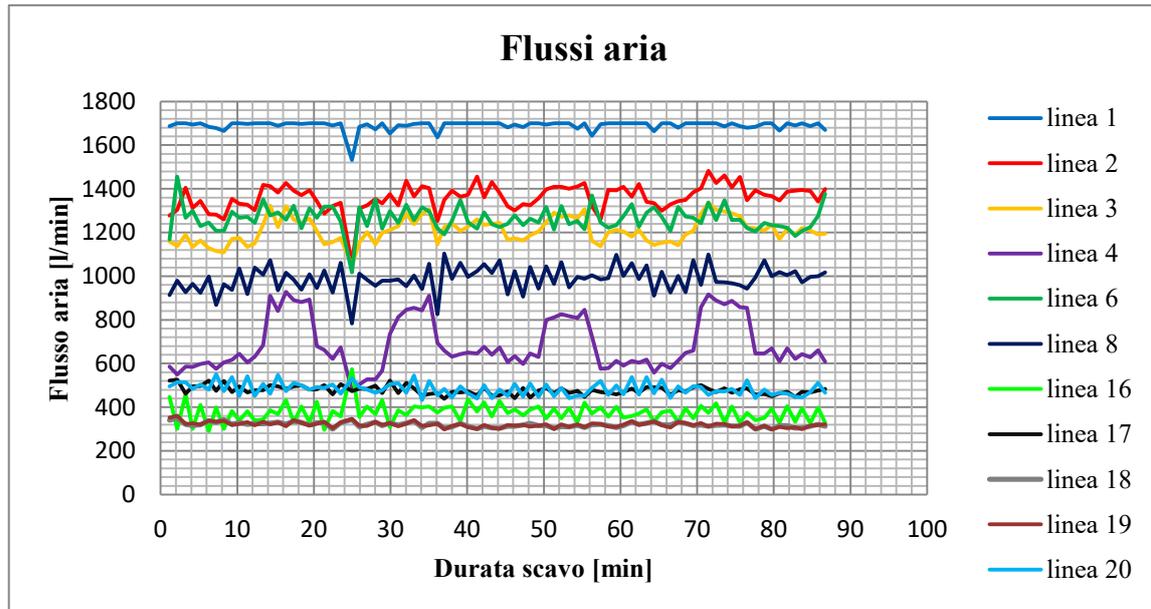


Gráfico 5.1: Esempio dell'andamento del flusso d'aria per le varie linee della schiuma durante lo scavo

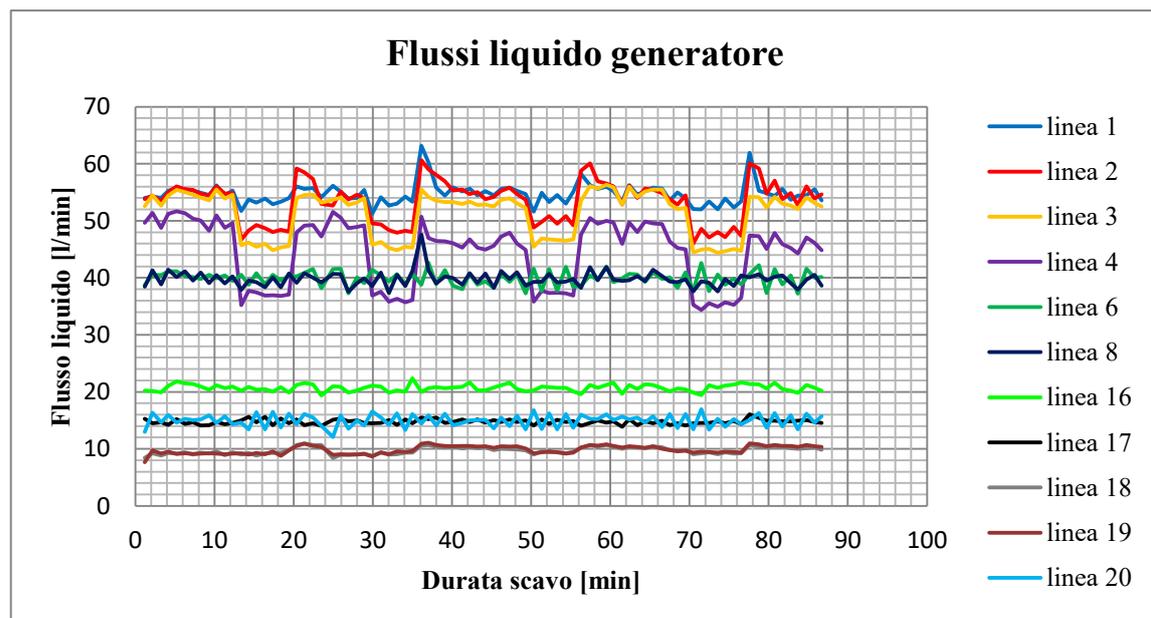


Gráfico 5.2: Esempio dell'andamento del flusso del liquido generatore per le varie linee della schiuma durante lo scavo

Calcolati i volumi di schiuma relativi alla condizione di pressione atmosferica e a quella in camera di scavo, si possono calcolare i parametri FER e FIR, distinguendo anch'essi nelle due condizioni, tramite le formule riportate di seguito.

$$FER_0 = \frac{V_{schiuma,0}}{V_{liquido}} \quad ; \quad FIR_0 = \frac{V_{schiuma,0}}{V_{terreno\ scavato,s}} \cdot 100$$

$$FER_p = \frac{V_{schiuma,p}}{V_{liquido}} \quad ; \quad FIR_p = \frac{V_{schiuma,p}}{V_{terreno\ scavato,s}} \cdot 100$$

dove  $V_{terreno\ scavato,s}$  è il volume di terreno scavato allo stato sciolto.

Nel momento in cui un volume di terreno in banco ( $V_{terreno\ scavato,b}$ ), ossia al suo stato naturale in sito, viene scavato, si manifesta un rigonfiamento dello stesso e assume un volume allo stato sciolto valutabile tramite il fattore di rigonfiamento ( $f_r$ ).

$$V_{terreno\ scavato,s} = V_{terreno\ scavato,b} \cdot f_r$$

Si nota che nell'espressione del FIR compare il volume di terreno scavato allo stato sciolto, in quanto si tratta del volume effettivamente interessato dal condizionamento.

Per il terreno in esame il valore del fattore di rigonfiamento è stato valutato pari a 1,5 ( $f_r = 1,5$ ). Considerando per ogni avanzamento una lunghezza di scavo di 2,2 m ( $l_{scavo} = 2,2\text{ m}$ ) e un diametro di scavo di 15,935 m ( $d = 15,935\text{ m}$ ) il volume di terreno scavato allo stato sciolto vale:

$$V_{terreno\ scavato,s} = \left( \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot l_{scavo} \right) \cdot f_r = 438,7\text{ m}^3 \cdot 1,5 = 658,1\text{ m}^3$$

Il Treatment Ratio medio dell'avanzamento (TR) è stato calcolato come il rapporto tra il volume di tensioattivo consumato ( $V_{tensioattivo}$ ) e il volume di terreno scavato allo stato sciolto.

$$TR = \frac{V_{tensioattivo}}{V_{terreno\ scavato,s}}$$

Nei Grafici 5.3, 5.4, 5.5 si riporta rispettivamente l'andamento dei valori medi dei parametri FER, FIR, TR di ogni avanzamento per il tratto di galleria indagato. Da essi si nota che il valore medio del  $FER_p$  varia tra 7 e 11, il valore medio del  $FIR_p$  tra 30% e

100%, mentre il valore medio del TR si mantiene sempre al di sotto di 1. Il calcolo di tali parametri viene riportato nell'Allegato 2.

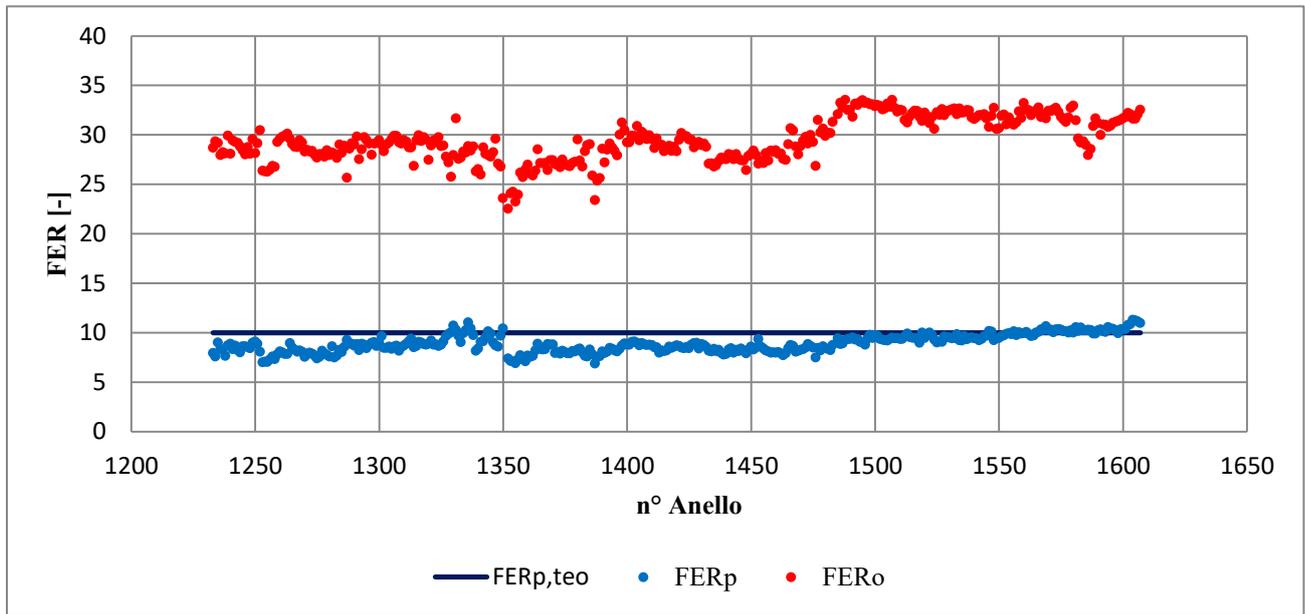


Grafico 5.3: Andamento del FER medio di ogni avanzamento nel tratto in esame

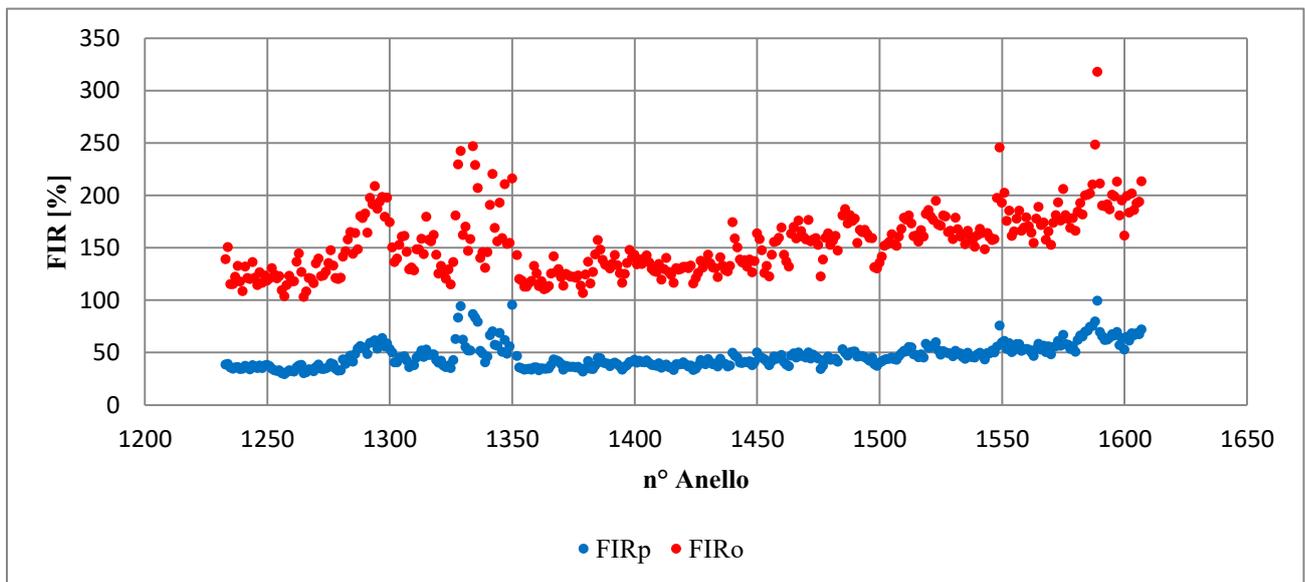


Grafico 5.4: Andamento del FIR medio di ogni avanzamento nel tratto in esame

Dai Grafici 5.3 e 5.4 emerge anche che la dispersione dei parametri FER e FIR relativi alla condizione di pressione atmosferica è molto più evidente rispetto alla condizione di pressione in camera di scavo, questo è dovuto all'effetto della pressione sull'espansione del volume di schiuma.

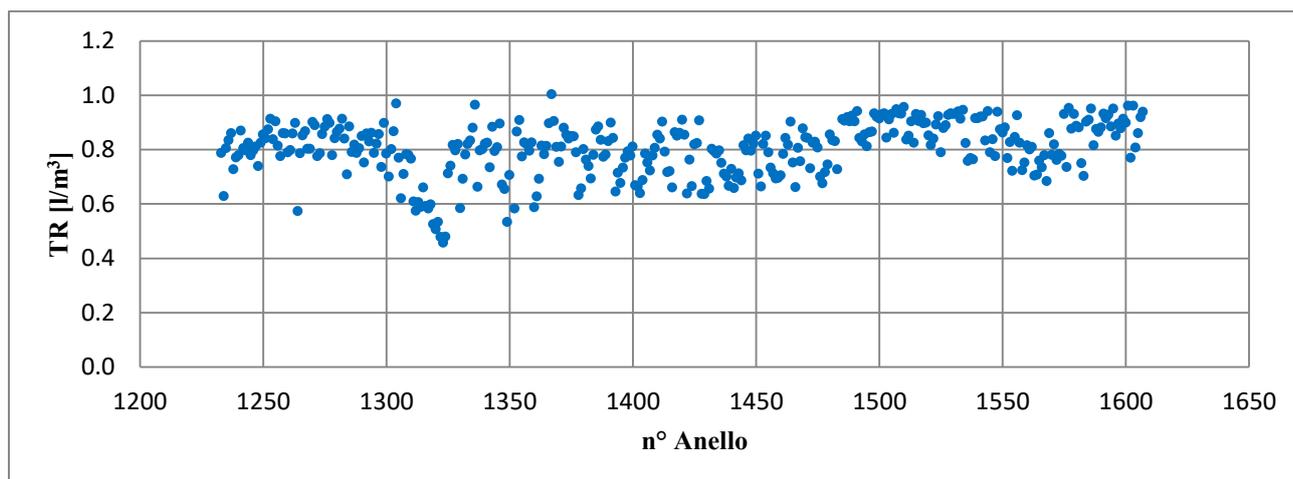


Grafico 5.5: Andamento del TR medio di ogni avanzamento nel tratto in esame

### 5.3 Prove di slump in sito

Le prove di slump sul materiale condizionato in sito sono state svolte sulla TBM. Per gli avanzamenti per i quali è stata possibile l'esecuzione delle prove, si è deciso di eseguire due prove di slump per avanzamento, generalmente una prova nella fase iniziale dello scavo (all'incirca dopo 15 ÷ 30 min dall'inizio dello scavo) e una nella fase finale.

Si presume che il materiale analizzato nella fase iniziale dello scavo sia quello scavato durante l'anello precedente, rimasto in camera di scavo per il tempo necessario alla fase di montaggio dell'anello e nuovamente condizionato in camera prima dell'estrazione mediante la coclea, mentre quello analizzato nella fase finale sia relativo all'avanzamento in cui si svolge la prova.

Le prove sono state condotte durante la fase di scavo dell'avanzamento sul materiale condizionato, prelevato in macchina dal nastro trasportatore e sottoposto subito alla prova di slump. A questo punto le modalità di esecuzione della prova sono del tutto analoghe a quanto già detto per le prove di slump in laboratorio, ovvero si versa il materiale appena prelevato nel cono di Abrams riportato in Figura 5.5, si aspetta circa un minuto durante il quale avviene l'assestamento per effetto de peso proprio e si solleva il cono, infine si misura e si registra l'abbassamento al cono, annotando anche il comportamento manifestato dal materiale durante la prova (Figura 5.5).

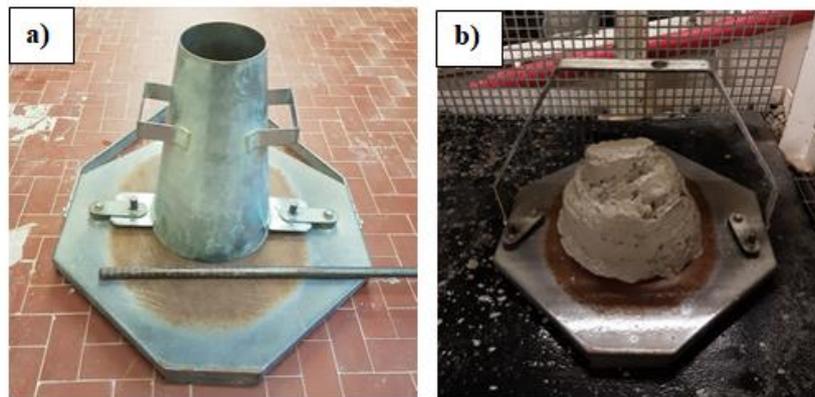


Figura 5.5: a) Cono di Abrams utilizzato per l'esecuzione delle prove di slump in sito; b) foto di una prova di slump in sito

Inoltre si è registrato l'orario di inizio e fine scavo dell'anello in esame e di quello precedente, e l'orario di esecuzione della prova al fine di avere un riscontro con i parametri di controllo registrati istantaneamente dal sistema elettronico-informatico della macchina.

Durante la fase di versamento del materiale nel cono si sono escluse le scaglie di roccia avente una dimensione paragonabile al diametro minore del cono, in quanto eccessivamente grandi per la prova di slump, ma soprattutto perché disturberebbero il comportamento della frazione più fine, falsificando l'esito della prova.

In Figura 5.6 si riporta il profilo geo-meccanico del tratto di galleria in esame, in cui sono evidenziati in verde gli avanzamenti per i quali si sono eseguite le prove di slump.

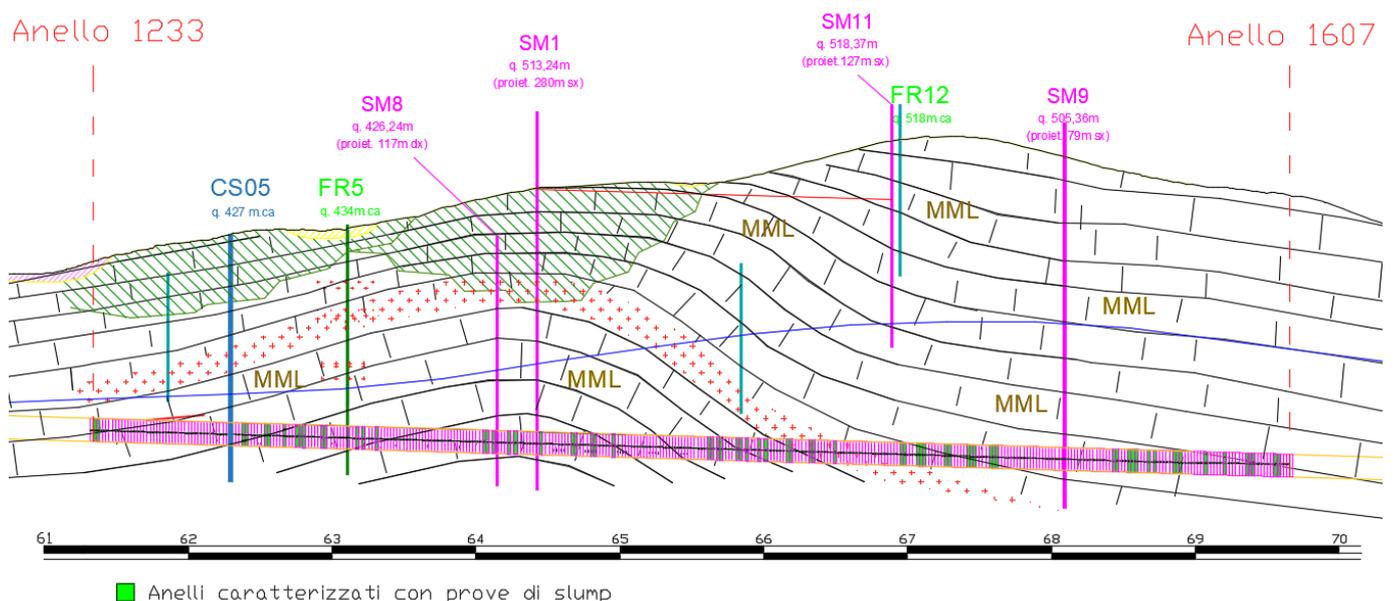


Figura 5.6: Profilo geo-meccanico con anelli caratterizzati da prove di slump

### 5.3.1 Risultati delle prove di slump in sito

Per uniformare i risultati delle prove di laboratorio e delle prove in sito, anche per l'interpretazione dei risultati delle prove di slump in sito si è utilizzata la tabella interpretativa riportata in Figura 4.5, così come la definizione del comportamento del materiale condizionato si è basata sugli stessi aspetti tecnici definiti per le prove di slump di laboratorio, riassumibili brevemente nelle caratteristiche di plasticità e fluidità necessarie per una buona applicazione della tecnologia EPB.

I parametri del condizionamento associati ad ogni prova di slump sono:

- *Acqua aggiunta*: Volume di acqua aggiunta per metro cubo di terreno scavato fino al momento di esecuzione della prova.
- *Concentrazione del tensioattivo*: Valore medio durante lo scavo dell'intero anello;
- $FER_p$ : Valore medio durante lo scavo dell'anello;
- $FIR_p$ : Valore fino al momento di esecuzione della prova.

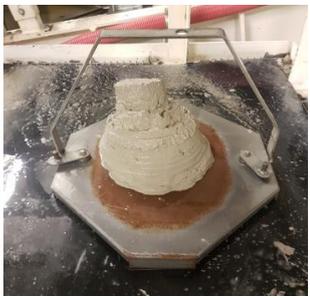
Si specifica che il materiale estratto mediante coclea e su cui si esegue la prova non è certamente quello appena scavato, ma è molto difficile conoscere esattamente i parametri del condizionamento relativi al materiale in esame. Tuttavia si è deciso di considerare per la concentrazione del tensioattivo e per il FER i valori medi durante l'avanzamento, perché tali grandezze subiscono oscillazioni modeste durante il singolo avanzamento, mentre per l'acqua aggiunta e il FIR si sono considerati i valori calcolati fino al momento di esecuzione della prova, perché spesso durante lo scavo si modificano il flusso dell'acqua iniettata e la velocità di avanzamento a seconda della percezione di guida del pilota e nel rispetto delle condizioni operative dell'intero sistema di scavo. Comunque una variazione dell'acqua aggiunta e/o del FIR non si riscontra immediatamente sul materiale estratto, ma serve il tempo necessario alla miscelazione in camera di scavo e all'estrazione. Si nota che se si modifica la velocità di avanzamento e la generazione della schiuma rimane costante (FER all'incirca uniforme) si ha comunque una variazione del FIR poiché varia il volume di terreno scavato.

Inoltre, volendo valutare l'effetto del condizionamento sui parametri di avanzamento della macchina, si sono calcolati i valori medi di forza netta, di coppia della testa di scavo e di penetrazione nei 10 minuti prima dell'orario di esecuzione della prova.

In Tabella 5.1 si riporta un esempio dei risultati delle prove di slump eseguite durante un avanzamento, in cui si definisce “Prova 1” la prova condotta nella fase iniziale dello scavo, e “Prova 2” quella nella fase finale.

Il calcolo dei parametri del condizionamento associati al materiale su cui si sono svolte le prove di slump è riportato nell'Allegato 3, mentre le tabelle in cui sono riassunti i risultati della campagna di prove di slump in sito sono riportate nell'Allegato 4.

Tabella 5.1: Tabella relativa alle prove di slump eseguite durante un avanzamento

<b>ANELLO PROVA</b>	1384	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	05/12/2018
		08:00		09:40	<b>Formazione geologica MML</b>	
<b>ANELLO RIFER.</b>	1383	05:15		06:55		
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:20	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	179	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,5	7,6	53,0				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	11192					
Coppia testa [MNm]	24,7					
Penetrazione [mm/rot]	16,1					
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:17	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>12</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	169	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,5	7,6	49,7				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	11702					
Coppia testa [MNm]	24,1					
Penetrazione [mm/rot]	15,0					

Nel Grafico 5.6 si riassumono i risultati di tutte le prove di slump espressi in termini di acqua aggiunta e FIR.

In un tratto di galleria si sono manifestate delle notevoli venute d'acqua al fronte, che per fermi della fase di scavo superiori al tempo necessario al montaggio dell'anello, venendo meno l'effetto di impermeabilizzazione delle bolle di schiuma nel materiale condizionato in camera di scavo, comportavano un'eccessiva fluidità dello stesso. Allora in tale situazione lo scavo avveniva iniettando una minore quantità d'acqua aggiunta. Pertanto nel Grafico 5.7 si riportano i risultati delle prove di slump escludendo le prove eseguite in tale

tratto di galleria, in quanto l'effetto dell'acqua naturale sul materiale in camera di scavo falsifica il comportamento dovuto alla schiuma e all'acqua aggiunta.

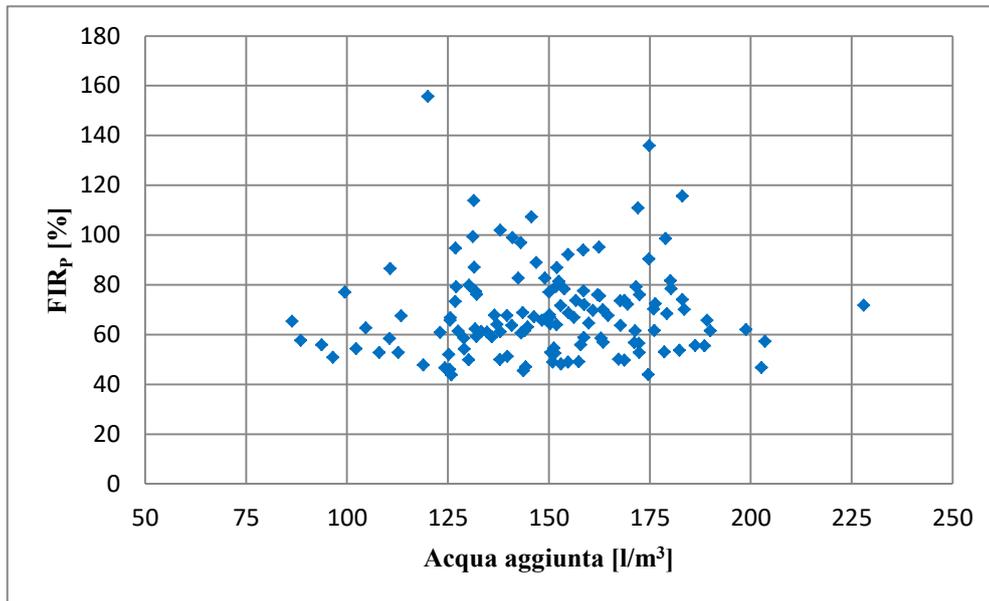


Grafico 5.6: Risultati di tutte le prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR

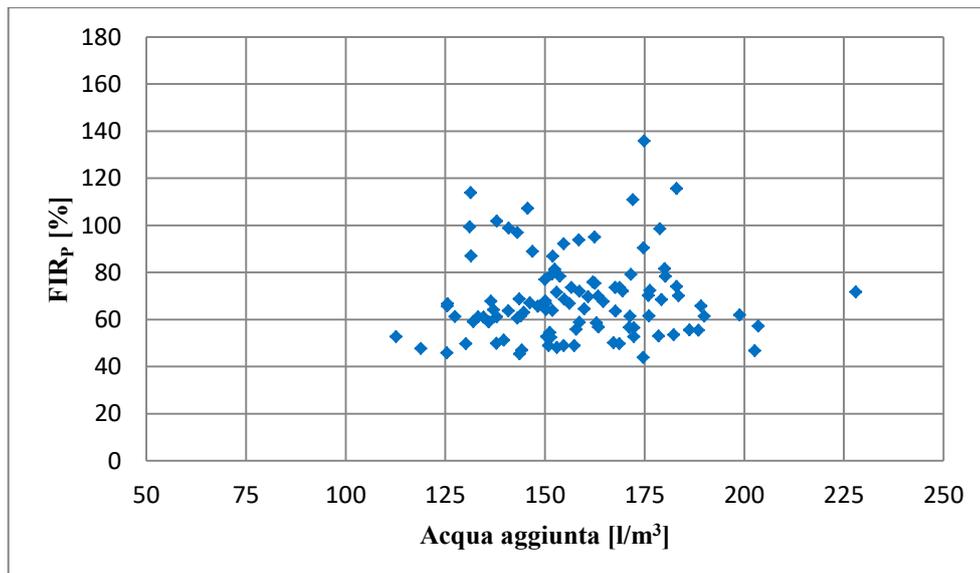


Grafico 5.7: Risultati delle prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR escludendo le prove nel tratto di galleria con notevoli venute d'acqua al fronte

Invece nel Grafico 5.8 si riassumono i risultati di tutte prove di slump in sito in termini di FER e FIR. Si considerano tutte le prove di slump poiché si è osservato che la variabilità dell'acqua aggiunta non ha effetti significativi sui quantitativi di schiuma iniettati.

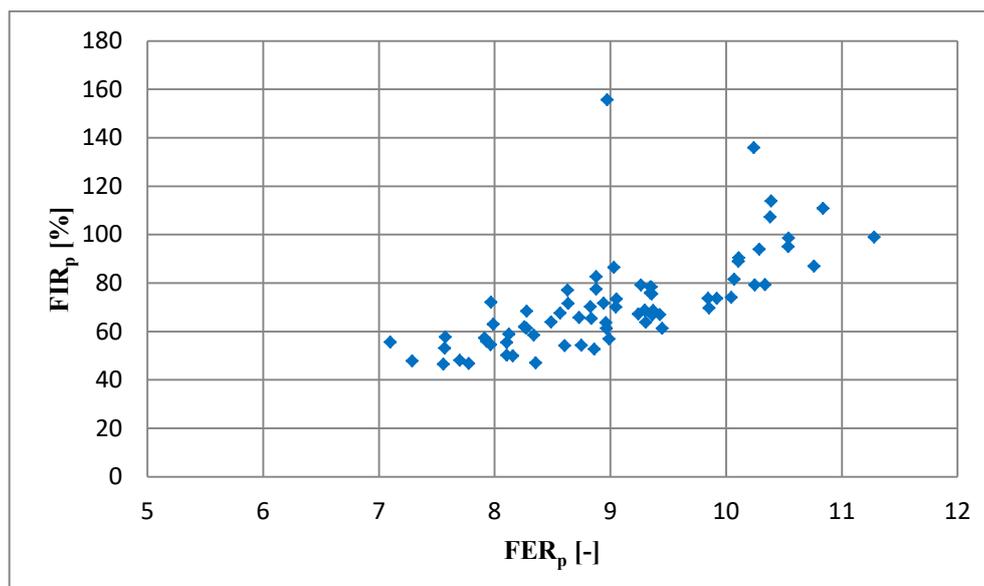


Grafico 5.8: Risultati di tutte le prove di slump in sito in termini di FER e FIR

### Conclusioni sui risultati delle prove di slump in sito

Oltre alla non esatta conoscenza dei parametri del condizionamento relativi al materiale sottoposto a prova, una difficoltà nell'interpretazione dei risultati è la non conoscenza del contenuto d'acqua naturale, che può variare lungo il tracciato della galleria. La mancanza di tale dato non permette di definire il reale effetto dell'acqua aggiunta nel condizionamento del terreno e un valore di riferimento di tale parametro relativo ad un buon comportamento del materiale. Infatti dai Grafici 5.6 e 5.7 si osserva che, escludendo i risultati relativi alle prove nel tratto di galleria con venute d'acqua al fronte, il range dei valori di acqua aggiunta si riduce, tendendo chiaramente verso valori maggiori.

Comunque sulla base dei risultati delle prove di slump in sito, escluse le prove disturbate dalle venute d'acqua al fronte, si può ritenere che un buon condizionamento in sito della formazione di Monte Morello in condizioni idrauliche normali si ottiene con  $FER_p \cong 10$ ,  $FIR_p = 50 \div 100\%$ ,  $Acqua_{agg} = 150 \div 200 \text{ l/m}^3$ , e si esplica con un valore di abbassamento al cono compreso tra i 10 e i 15 cm. Invece nei tratti di galleria con venute d'acqua importanti è necessario ridurre il quantitativo di acqua aggiunta.

## **5.4 Controllo della frazione più grossolana del terreno scavato in sito**

Durante l'evolversi dello scavo della galleria, in alcuni tratti si sono notate delle sostanziali variazioni del materiale scavato in termini di colore, di qualità della roccia, di contenuto della frazione più grossolana e di quella più fine. Pertanto in sito si è svolto anche un semplice controllo sulla frazione più grossa del materiale scavato.

Allora per alcuni avanzamenti, al fine di valutare la qualità e la composizione geologica della formazione di Monte Morello attraversata, una parte del materiale prelevato per la prova di slump è stata lavata con acqua in modo da rendere ben distinguibile la frazione più grossa dello smarino rispetto alla frazione più fine che avvolge gli elementi lapidei.

In Tabella 5.2 si mostrano le foto degli elementi lapidei a seguito del lavaggio, specificando l'avanzamento in cui sono avvenuti il prelievo e il lavaggio, e la relativa progressiva del fronte a inizio avanzamento.

Dalle foto si osserva che le dimensioni degli elementi lapidei variano da centimetriche a decimetriche e il loro contenuto nello smarino varia lungo il tracciato. In realtà in alcuni casi nel materiale estratto erano presenti anche dei massi di dimensioni ben più grandi rispetto a quelli mostrati, tuttavia questi rappresentano degli elementi isolati rispetto alla matrice lapidea.

Invece, per quanto riguarda la composizione geologica del Monte Morello, è ben riconoscibile l'alternanza di calcari e calcari marnosi nocciola e grigio, con la presenza di argilla in alcuni tratti, che si mostra in forma di grumi come mostrato nella foto relativa all'avanzamento 1502.

Tabella 5.2: Foto del materiale lapideo lavato con relativo numero di avanzamento e progressiva del fronte a inizio scavo

<b>Avanzamento n° 1306</b>		<b>Avanzamento n° 1357</b>		<b>Avanzamento n° 1366</b>	
Progr. [m]	6302,7	Progr. [m]	6414,9	Progr. [m]	6434,8
					
<b>Avanzamento n° 1495</b>		<b>Avanzamento n° 1502</b>		<b>Avanzamento n° 1562</b>	
Progr. [m]	6718,6	Progr. [m]	6734,1	Progr. [m]	6866,0
					
<b>Avanzamento n° 1566</b>		<b>Avanzamento n° 1587</b>		<b>Avanzamento n° 1594</b>	
Progr. [m]	6874,8	Progr. [m]	6921,1	Progr. [m]	6936,4
					

## **6. Confronto tra i risultati delle prove di laboratorio e delle prove in sito**

In questo capitolo si confrontano i risultati delle prove di laboratorio e delle prove in sito, evidenziando le differenze tra le condizioni di prova nei due ambienti.

### **6.1 Differenze tra il condizionamento del terreno in laboratorio e in sito**

Prima di tutto, vista l'importanza della schiuma nel condizionamento del terreno scavato, è necessario sottolineare le differenze tra le condizioni di generazione della schiuma in laboratorio e in sito.

Concettualmente la generazione della schiuma in laboratorio e in una TBM EPB avviene allo stesso modo, infatti in entrambi i casi avviene andando a miscelare un flusso d'aria e un flusso di liquido generatore, secondo le prefissate proporzioni, all'interno di un generatore di schiuma. Anche se è evidente che in macchina il sistema di generazione della schiuma è più complesso (varie linee di schiuma, lunghezza e diametro delle tubazioni maggiori quindi perdite di carico maggiori, ecc...).

Però la differenza sostanziale è che, mentre in laboratorio l'espansione della schiuma avviene generalmente in condizioni di pressione atmosferica, in macchina avviene in camera di scavo in condizioni di pressione positiva (compressione), per cui per ottenere il valore desiderato di FER in camera di scavo è necessario produrre un volume di schiuma in condizioni atmosferiche maggiore. Si ricorda che il legame tra il volume e la pressione può esprimersi tramite la legge di Boyle.

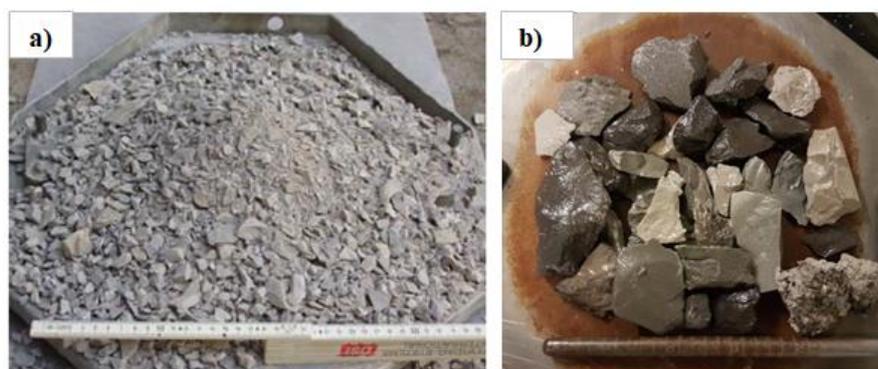
Un'altra differenza tra l'ambiente di laboratorio e l'ambiente in camera di scavo è la temperatura, generalmente maggiore in camera di scavo.

Da studi sull'effetto della pressione sul condizionamento del terreno eseguiti dai ricercatori Mooney, Mori, Yuanli & Parikh, è emerso che pressioni maggiori comportano la formazione di bolle di schiuma più piccole con una distribuzione delle dimensioni più uniforme e un accrescimento delle bolle nel tempo, ovvero una maggiore stabilità.

La caratterizzazione della schiuma in laboratorio è sicuramente più precisa rispetto a quella in sito poiché la scala ridotta e i quantitativi minori permettono un controllo molto più accurato. Inoltre il contenuto d'acqua naturale del terreno, che in laboratorio è ben noto, in sito è incognito e per di più variabile lungo il tracciato.

Il condizionamento del terreno è influenzato dalla curva granulometrica dello stesso, ma, mentre in laboratorio per gli ammassi rocciosi la curva granulometrica viene costruita sulla base di informazioni bibliografiche, escludendo la presenza di elementi lapidei aventi dimensioni superiori a qualche centimetro per motivi legati ai limiti dell'attrezzatura di prova, in realtà durante lo scavo la curva granulometrica del materiale scavato è variabile lungo il tracciato e può contenere una frazione grossolana molto più estesa. Anche se il condizionamento interessa soprattutto la frazione più fine del materiale, comunque la presenza di elementi lapidei grossolani ne influenza il comportamento.

Confrontando il materiale della formazione di Monte Morello su cui si sono svolte le prove di laboratorio e gli elementi lapidei grossolani prelevati in sito (Figura 6.1), si nota che gli elementi più grossolani del materiale di laboratorio hanno dimensioni inferiori rispetto a quelli in sito.



*Figura 6.1: Confronto tra le dimensioni della frazione grossolana della formazione di Monte Morello analizzata in laboratorio a) e di quella in sito derivante dallo scavo b)*

## 6.2 Confronto tra i risultati delle prove di laboratorio e delle prove di slump in sito

Dai risultati delle prove di slump di laboratorio il set di parametri da utilizzare per ottenere un buon condizionamento a tempo immediato è:  $c = 2\%$ ;  $w_{agg} = 2 \div 3\% = 30 \div 45 \text{ l/m}^3$ ;  $FER_p = 15$ ;  $FIR_p = 40\%$  (Si introduce il pedice “p” al FER e al FIR, perché, nonostante in laboratorio si lavori in condizioni di pressione atmosferica, i risultati dei parametri sono proiettati alle condizioni in camera di scavo). E per tener conto degli effetti di tempo e temperatura è necessario incrementare il FIR del 20%, che quindi diventa pari al 60%.

Invece i risultati delle prove di estrazione controllata con coclea da camera in pressione hanno portato a dire che, affinché il materiale condizionato sia in grado di trasmettere le pressioni e sia estraibile con coclea, il FIR deve essere pari al 70%.

Quindi si può affermare che il set dei parametri ottimali del condizionamento del terreno definito dalle prove di laboratorio è:

$$c = 2\%; w_{agg} = 3\% = 45 \text{ l/m}^3 ; FER_p = 15; FIR_p = 70\%$$

Come già detto, tali parametri sono da intendersi come un punto di partenza per la fattibilità del condizionamento e come dei valori indicativi che poi in realtà possono e devono essere adattati alle condizioni in sito e alle esigenze operative. Quindi, se in sito durante lo scavo si ottiene un buon condizionamento con valori diversi da quelli definiti in laboratorio, significa che probabilmente si sta lavorando in condizioni diverse rispetto a quelle definite in laboratorio, e che possono riguardare: il materiale, la granulometria, il contenuto d’acqua naturale, le temperature e le pressioni. Infatti in sito, in alcuni casi, a valori simili dei parametri del condizionamento sono corrisposti dei comportamenti del materiale condizionato completamente diversi.

Dai risultati delle prove di slump in sito, viste le incognite e le numerose variabili che entrano in gioco durante lo scavo, è difficile definire con esattezza i valori dei parametri, tuttavia si può affermare che per il caso in esame un range di valori che garantisce un buon condizionamento è:

$$c = 1 \div 2\%; w_{agg} = 150 \div 200 \text{ l/m}^3 ; FER_p \cong 10; FIR_p = 50 \div 100\%$$

In Tabella 6.1 si riassumono i parametri relativi ad un buon condizionamento derivanti dalle prove di laboratorio e dalle prove di slump in sito.

Tabella 6.1: Confronto tra i valori dei parametri ottimali del condizionamento definiti dalle prove di laboratorio e dalle prove in sito

	Parametri ottimali di condizionamento			
	c [%]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]
<b>Prove di laboratorio</b>	2	45	15	70
<b>Prove in sito</b>	1-2	150-200	≈10	50-100

Nel Grafico 6.1 si riassumono i risultati delle prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR, escludendo le prove relative al tratto con venute d'acqua al fronte, e i valori dei parametri ottimali definiti dalle prove di laboratorio.

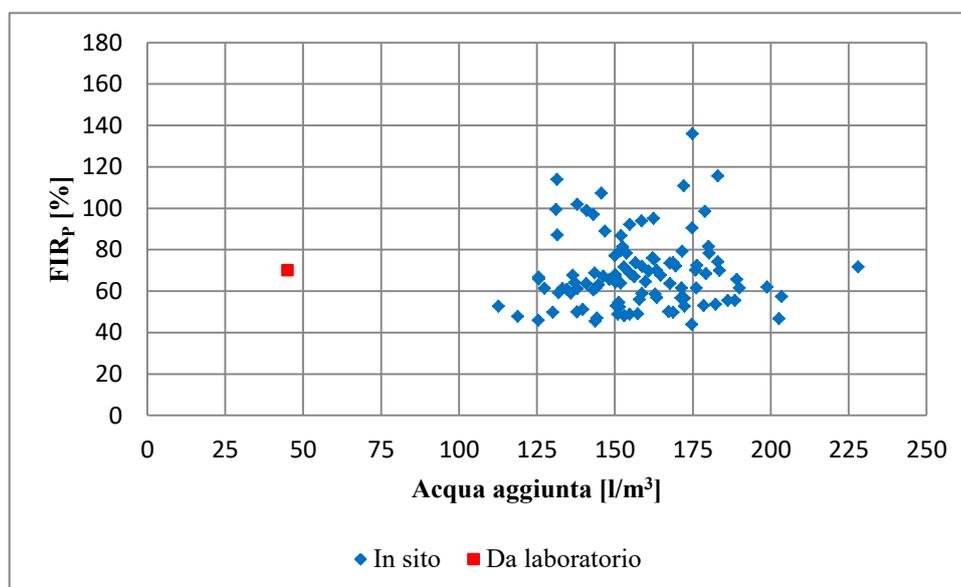


Grafico 6.1: Risultati delle prove di slump in sito in termini di acqua aggiunta e FIR e valori ottimali definiti dalle prove di laboratorio

Analogamente nel Grafico 6.2 si riportano a confronto i risultati delle prove di slump in sito, espressi in termini di FER e FIR, con i valori ottimali degli stessi definiti in laboratorio. Per garantire una certa uniformità nella trattazione, anche in tal caso si escludono le prove nel tratto con venute d'acqua, anche se la variabilità dell'acqua aggiunta non ha effetti significativi sui quantitativi di schiuma iniettati.

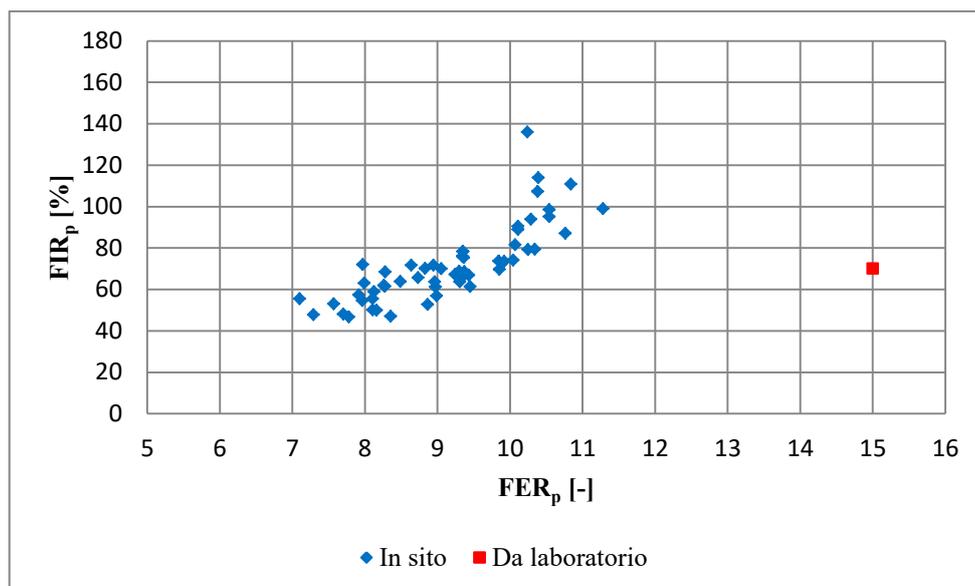


Grafico 6.2: Risultati delle prove di slump in sito in termini di FER e FIR e valori ottimali definiti dalle prove di laboratorio

Dal confronto tra i parametri ottimali del condizionamento definiti dalle prove di laboratorio e i risultati delle prove di slump in sito si nota che i valori di FIR in sito oscillano intorno al valore definito dalle prove di laboratorio, ma l'acqua aggiunta in sito è molto maggiore rispetto al valore ottenuto in laboratorio.

La necessità dell'utilizzo di una maggiore quantità di acqua aggiunta in sito può essere spiegata ipotizzando una curva granulometrica e una mineralogia del terreno al fronte diverse rispetto a quelle del terreno analizzato in laboratorio (es. presenza di argilla e elementi lapidei di dimensione maggiore) e/o considerando che lo smarino, prima di essere estratto mediante la coclea, rimane all'interno della camera di scavo, in cui si registrano mediamente delle temperature di  $30 \div 35 \text{ }^\circ\text{C}$  nella zona centrale e di  $20 \div 25 \text{ }^\circ\text{C}$  nella zona esterna, subendo durante la fase di scavo una continua miscelazione.

Un'ulteriore differenza tra i risultati delle prove di slump di laboratorio e delle prove di slump in sito riguarda il valore di abbassamento al cono (slump) relativo ad un buon condizionamento. Infatti, mentre in laboratorio un buon comportamento del materiale si manifesta con un abbassamento tra 15 e 20 cm, in sito ciò avviene con un abbassamento tra 10 e 15 cm (Figura 6.2). Tale considerazione si ricollega alla presenza di elementi lapidei grossolani all'interno della distribuzione granulometrica del terreno scavato. Poiché in sito il materiale scavato contiene elementi di dimensione maggiore rispetto a quelli definiti in laboratorio, i valori di slump relativi ad un buon condizionamento sono inferiori rispetto a

quelli di laboratorio. Quindi la presenza di elementi di dimensioni maggiori nel materiale condizionato tende ad irrigidirne il comportamento, in quanto questi si oppongono allo scorrimento fornito dalla frazione più fine.

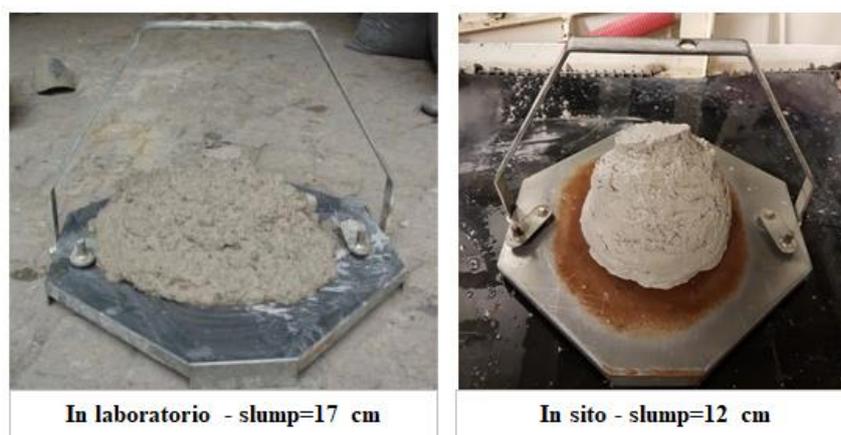


Figura 6.2: Confronto tra i valori di slump relativi ad un buon condizionamento in laboratorio e in sito

### 6.3 Effetti del condizionamento sull'estrazione tramite coclea del materiale dalla camera di scavo

La prova di estrazione controllata con coclea da camera in pressione sul materiale condizionato con il set di parametri:  $c = 2\%$ ;  $w_{agg} = 3\% = 45 \text{ l/m}^3$ ;  $FER = 15$ ;  $FIR = 40\%$ , ha mostrato una certa difficoltà del materiale ad essere estratto, in quanto si era formata una cavità stabile nel serbatoio in prossimità della vite a coclea. Invece incrementando il FIR al 70% il materiale è risultato idoneo alla trasmissione delle pressioni nel serbatoio e all'estrazione mediante la coclea.

In sito, anche nei casi in cui il condizionamento è avvenuto con un FIR basso ( $FIR \cong 40\%$ ), non si sono riscontrate difficoltà nell'estrazione dalla camera in pressione tramite la coclea. Chiaramente si ricorda che le condizioni dell'apparecchiatura utilizzata in laboratorio e le condizioni operative in sito sono molto diverse in termini di scala, di pressioni e di materiale.

Tuttavia è evidente che il condizionamento del terreno ha effetti sull'estrazione tramite coclea del materiale dalla camera di scavo. Infatti nel momento in cui il materiale risulta poco plastico (rigido) la potenza richiesta dalla coclea aumenta.

Nel Grafico 6.3 si riporta l'andamento della coppia della coclea durante lo scavo dell'anello 1390, e nel Grafico 6.4 il relativo andamento della velocità di rotazione, che si mantiene all'incirca costante intorno al valore di 3 giri al minuto (rpm: rounds per minute). Tale anello è stato anche caratterizzato da prove di slump i cui risultati sono riassunti in Tabella 6.2.

Tabella 6.2: Risultati delle prove di slump per l'anello 1390

ANELLO PROVA		1390	Ora inizio scavo		06:55	Ora fine scavo		08:40	DATA	06/12/2018
ANELLO RIFER.		1389	04:30		06:00		<b>Formazione geologica MML</b>			
<b>PROVA 1</b>			Ora	07:30	Commenti			Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>			<b>Slump [cm]</b>	<b>14</b>		Materiale ben condizionato, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		167								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]		Altre note						
1,5	8,1	50,1								
<b>Parametri avanzamento</b>										
F <sub>netta</sub> [kN]		17221								
Coppia testa [MNm]		22,0								
Penetrazione [mm/rot]		16,4								
<b>PROVA 2</b>			Ora	08:25	Commenti			Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>			<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>		Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		157								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]		Altre note						
1,5	8,1	49,0								
<b>Parametri avanzamento</b>										
F <sub>netta</sub> [kN]		15936								
Coppia testa [MNm]		21,8								
Penetrazione [mm/rot]		15,2								

I risultati delle prove di slump mostrano che al momento della Prova 1 il materiale ha un buon comportamento, mentre nella Prova 2 è un po' più rigido. Questa differenza nel comportamento del materiale la si riscontra anche nell'andamento della coppia della coclea. Infatti dal Grafico 6.3 si osserva che a inizio scavo, quando si estrae il materiale che è generalmente più rigido, in quanto è quello rimasto fermo in camera di scavo e nella coclea per il tempo necessario alla fase di montaggio dell'anello (circa 1 ora), la coppia della coclea è elevata, mentre poi si abbassa gradualmente e a partire dalle 07:20 si

mantiene intorno al valore di circa 100 kNm (a meno di alcuni punti di nullo dovuti al fermo della rotazione della coclea) fino alle 07:50; in tale intervallo di tempo il comportamento del materiale è buono. Poi il materiale tende ad irrigidirsi e si manifesta un aumento della coppia, che oscilla intorno a 130 kNm circa.

Quindi, ritenendo la velocità di rotazione della coclea costante, le variazioni nell'andamento della coppia sono dovute ad un cambiamento del condizionamento del materiale, che quando presenta un buon comportamento si estrae con una coppia inferiore rispetto a quando è un po' più rigido.

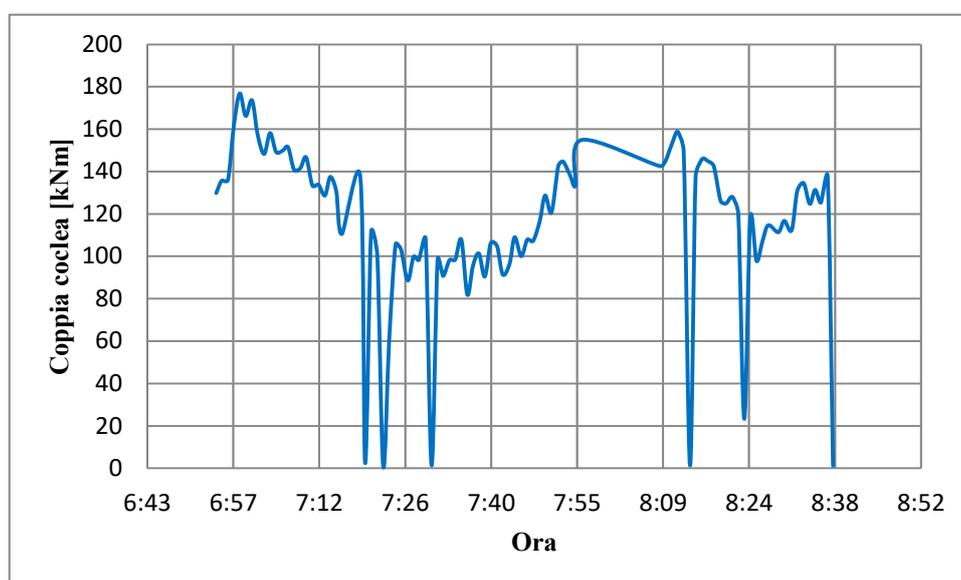


Grafico 6.3: Andamento della coppia della coclea durante lo scavo dell'anello 1390

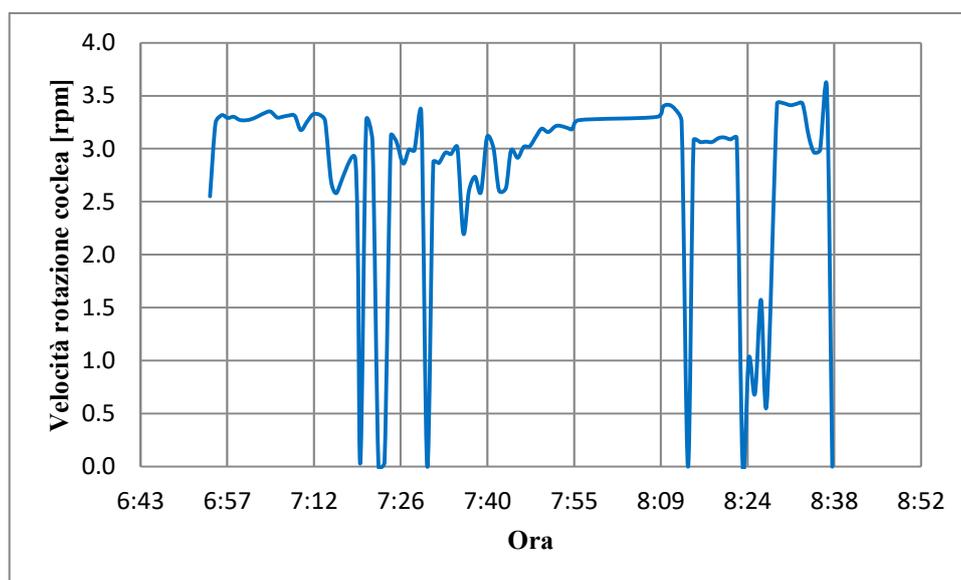


Grafico 6.4: Andamento della velocità di rotazione della coclea durante lo scavo dell'anello 1390

In condizioni normali lungo la coclea avviene la dissipazione della differenza di pressione tra la pressione in camera di scavo e la pressione atmosferica, tuttavia in particolari condizioni idrauliche si può avere molta acqua al fronte, allora per fermi dello scavo lunghi, venendo meno l'effetto di impermeabilizzazione delle bolle di schiuma, l'acqua si infiltra in camera di scavo rendendo il materiale eccessivamente fluido. In tali condizioni all'uscita della coclea il materiale possiede ancora un eccesso di pressione (pressione relativa non nulla), per cui il suo flusso è poco controllabile e il trasporto del materiale con i nastri è difficoltoso.

Quando succede ciò, lo scavo procede molto lentamente per evitare di sporcare eccessivamente in macchina, alternando fasi di scavo senza estrarre e fasi di estrazione senza scavare in modo da "asciugare" il materiale in camera di scavo e chiaramente limitando l'aggiunta di acqua, fino a quando si riesce a ripristinare l'annullamento della pressione relativa all'uscita della coclea.

Un esempio dell'andamento delle pressioni relative all'entrata e all'uscita della coclea durante lo scavo di un anello in condizioni idrauliche critiche è riportato nel Grafico 6.5.

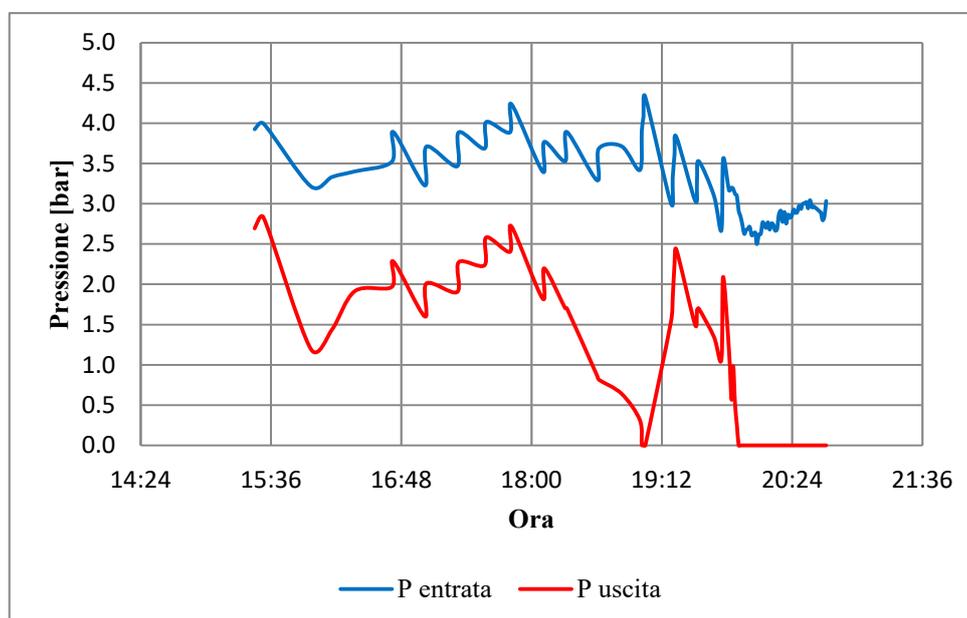


Grafico 6.5: Esempio dell'andamento delle pressioni all'entrata e all'uscita della coclea nel caso di pressioni all'uscita non nulle

## 7. Interpretazione dei dati raccolti in sito

Sulla base dei dati raccolti in sito si sono ricercate delle relazioni tra i vari parametri del condizionamento, sfruttando anche i risultati delle prove di slump in sito, e tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento della macchina. In particolare l'obiettivo è quello di ricavare delle relazioni che dimostrino che il condizionamento del terreno ha effetti anche sui parametri di avanzamento.

Inoltre, vista l'influenza delle pressioni in camera di scavo sulla schiuma, queste si sono relazionate con i parametri di caratterizzazione della schiuma  $FER_p$  e  $FIR_p$  e i risultati si sono confrontati con le relazioni teoriche trattate in precedenza.

Le relazioni ricavate, viste le incertezze nel calcolo e nelle misure, non sono da intendersi come delle leggi sempre valide (anche perché basate su un solo caso studio), bensì come un punto di partenza per la valutazione e la stima del condizionamento in sito, e soprattutto come uno stimolo per approfondire alcuni aspetti del condizionamento del terreno nella tecnologia EPB.

### 7.1 Dipendenza dei parametri FER e FIR dalle pressioni in camera di scavo e confronto con le relazioni teoriche

Dalla trattazione teorica sull'influenza delle pressioni sui parametri di caratterizzazione della schiuma FER e FIR, illustrata nel paragrafo 3.2.2, si sono ricavate le seguenti relazioni:

$$FER_p = 1 + (FER_0 - 1) \cdot \frac{P_{atm}}{p + P_{atm}}$$

$$FIR_p = FIR_0 \cdot \frac{FER_p}{FER_0}$$

Si vuole controllare se tali relazioni hanno un riscontro effettivo nelle condizioni operative reali di scavo.

Nel Grafico 7.1 si diagrammano le relazioni teoriche in cui si è utilizzato  $FER_0 = 30$  e  $FIR_0 = 150\%$ , che sono i valori medi tra tutti quelli definiti per gli avanzamenti del tratto

di galleria in esame, e considerando un intervallo di pressioni relative simili alle pressioni di supporto al fronte registrate in camera di scavo.

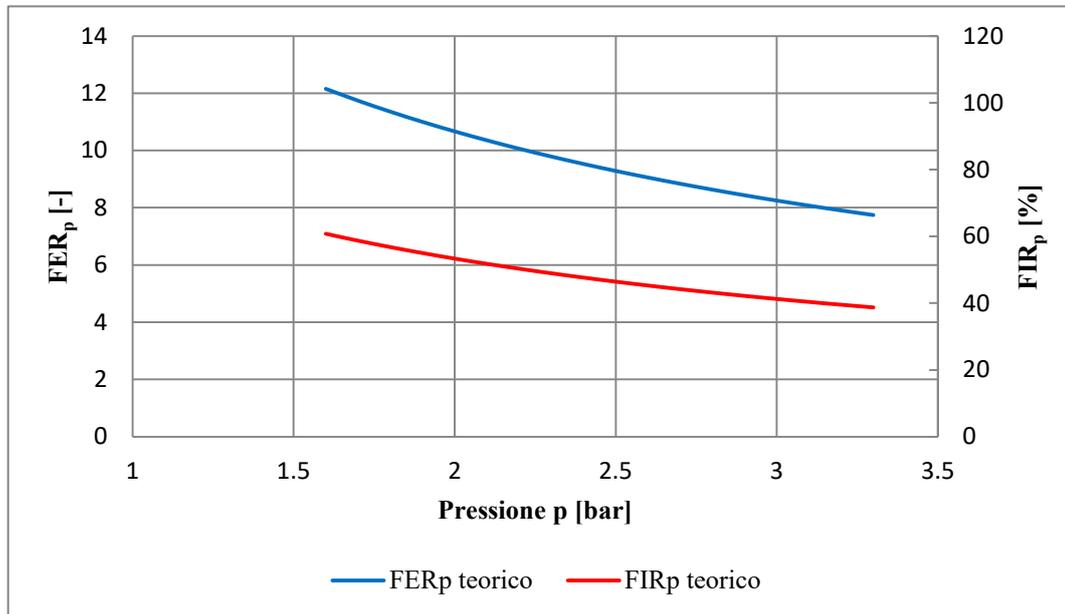


Grafico 7.1: Andamento teorico del FER<sub>p</sub> e del FIR<sub>p</sub> in funzione delle pressioni per FER<sub>0</sub>=30 e FIR<sub>0</sub>=150%

Invece nel Grafico 7.2 si riportano i valori medi di FER<sub>p</sub> e FIR<sub>p</sub> relativi ad ogni avanzamento analizzato in funzione delle pressioni di supporto al fronte in camera di scavo, con le relative curve interpolanti.

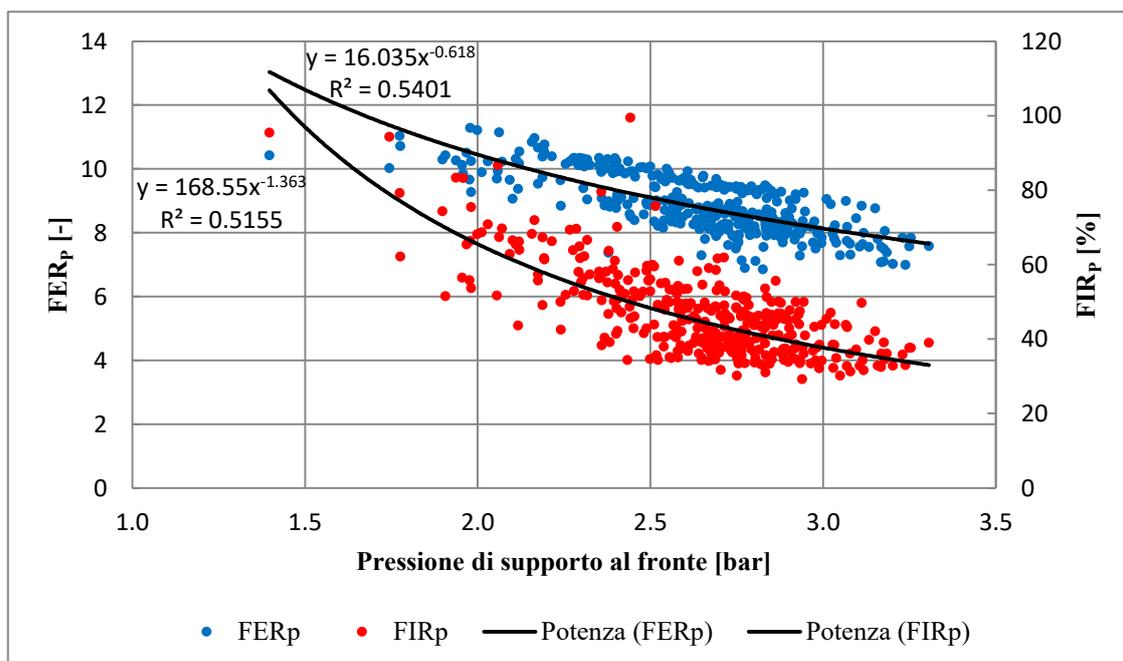


Grafico 7.2: Valori puntuali di FER<sub>p</sub> e FIR<sub>p</sub> relativi alle condizioni reali in sito

Anche se non è possibile confrontare direttamente l'andamento teorico dei parametri  $FER_p$  e  $FIR_p$  con quello definito dai parametri reali in sito, in quanto in sito non si ha un valore univoco di  $FER_0$  e di  $FIR_0$ , che sono variabili per ogni coppia di punti, facendo riferimento alle linee di tendenza dei parametri in sito si può affermare che le relazioni teoriche trovano dei riscontri del tutto positivi nelle situazioni reali di scavo.

Nel Grafico 7.3 si diagrammano le coppie  $FIR_p$ - $FER_p$  relative ad ogni avanzamento monitorato e le si interpola con la curva che riproduce meglio il loro andamento.

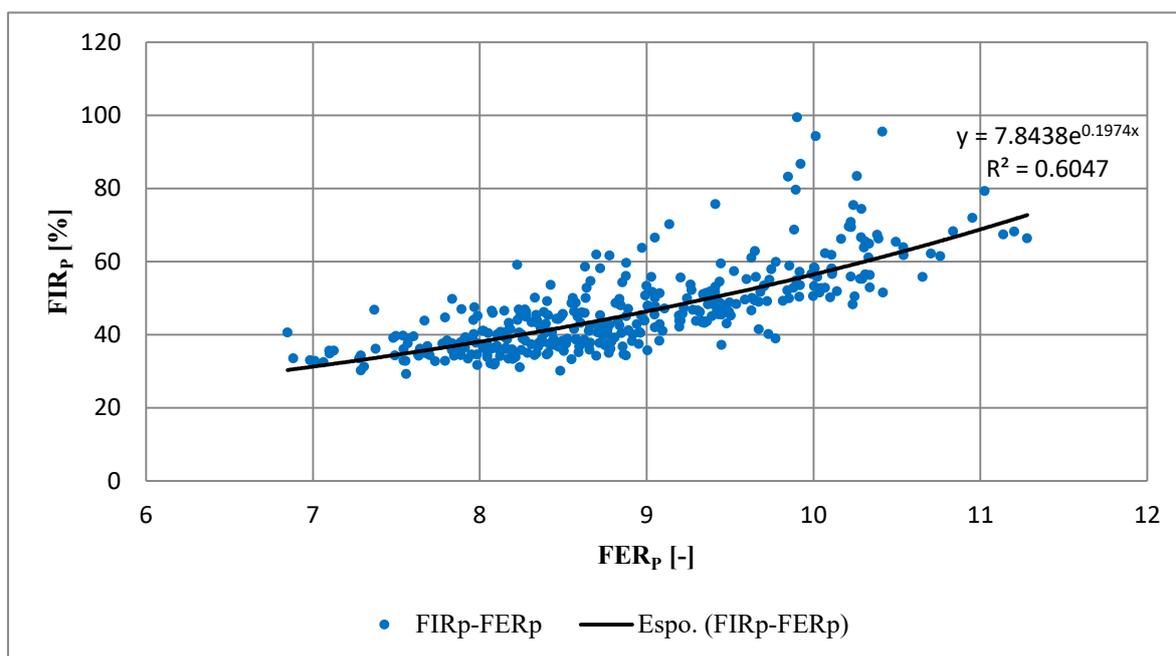


Grafico 7.3: Andamento del  $FIR_p$  in funzione del  $FER_p$  in sito

Come è facilmente intuibile, all'aumentare del  $FER_p$  aumenta anche il  $FIR_p$ , perché se aumenta il tasso di espansione della schiuma aumenta il volume di schiuma generata ed essendo il volume di terreno scavato in ogni avanzamento pressoché costante, aumenta anche il tasso di iniezione. In particolare la relazione che meglio si adatta all'andamento delle coppie di punti  $FER_p$ -  $FR_p$  è descritta da una legge esponenziale, la cui espressione è mostrata sul grafico (comunque anche una legge lineare rappresenta bene l'andamento dei dati).

## 7.2 Relazioni tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento della macchina

La testa di scavo ruota e avanza immersa nel materiale condizionato contenuto nella camera di scavo, quindi, in base alle caratteristiche del materiale, la rotazione richiede più o meno potenza (a parità di velocità di rotazione della testa, penetrazione e condizioni del fronte). Chiaramente se il materiale in camera di scavo è poco plastico e rigido serve una coppia maggiore per far ruotare la testa e inoltre si ha un'usura eccessiva degli utensili di scavo e di tutte le altre parti metalliche, invece se è ben condizionato la rotazione avviene più facilmente e l'usura è limitata.

Sulla base di tali osservazioni si sono ricercate delle relazioni tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento della macchina (forza netta, coppia della testa di scavo) che confermassero anche numericamente quanto detto sopra.

E' evidente che esiste una relazione tra la forza netta e la coppia della testa di scavo, in quanto, a parità delle altre condizioni, se la forza netta aumenta anche la coppia da applicare sulla testa di scavo aumenta. Allora tale dipendenza è stata depurata considerando come parametro di avanzamento il rapporto tra la coppia della testa di scavo e la forza netta ( $Coppia/F_{netta}$ ). Anche la velocità di rotazione della testa di scavo influenza la coppia, tuttavia per il caso in esame essa è mantenuta costante a 1,5 giri al minuto, per cui tale dipendenza non entra in gioco.

Al fine di valutare l'effetto della schiuma sui parametri di avanzamento della macchina, nel Grafico 7.4 si riportano le coppie  $FIR_p$ - $Coppia/F_{netta}$  relative ad ogni avanzamento del tratto di galleria in esame e la loro curva interpolante.

Come ci si aspetta, all'aumentare del  $FIR_p$ , cioè del quantitativo di schiuma utilizzata per il condizionamento del materiale, si ha una riduzione del rapporto  $Coppia/F_{netta}$ , poiché la maggiore quantità di schiuma fornisce al terreno scavato le caratteristiche di plasticità e fluidità desiderate. La curva interpolante che meglio descrive il legame tra il  $FIR_p$  e il rapporto  $Coppia/F_{netta}$  è una curva di potenza la cui espressione è riportata nel Grafico 7.4.

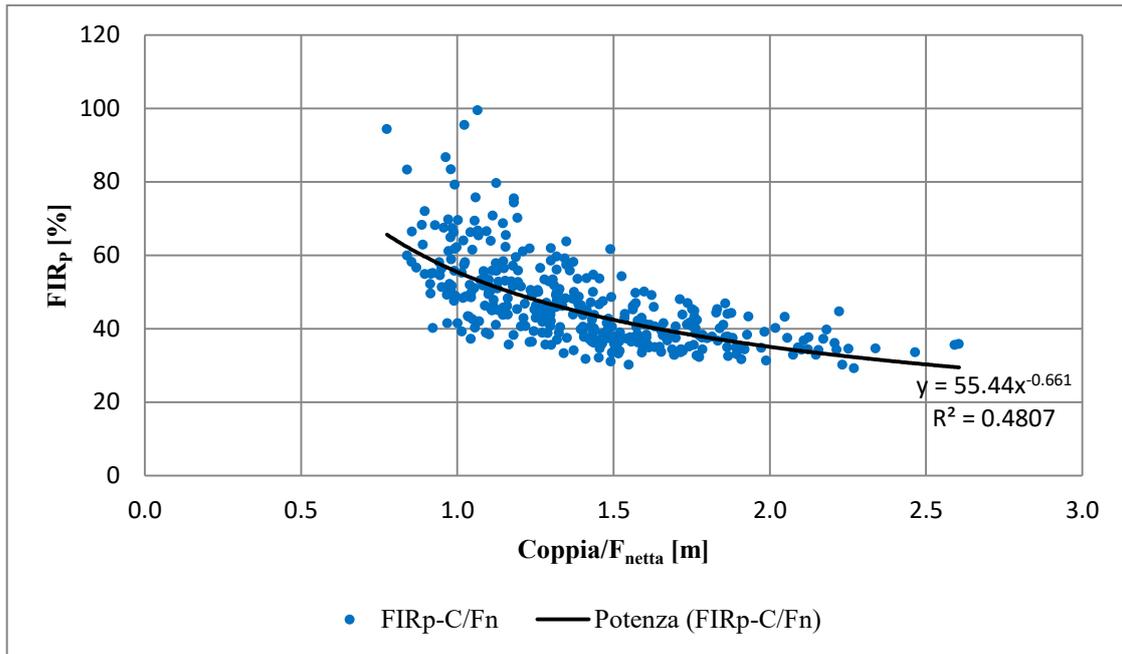


Grafico 7.4: Relazione tra  $FIR_p$  e il rapporto  $Coppia/F_{netta}$

Un'ulteriore conferma dell'effetto benefico della schiuma sulla coppia della testa di scavo è mostrato nel Grafico 7.5, in cui si rappresenta il flusso medio di schiuma durante l'avanzamento in funzione del rapporto  $Coppia/F_{netta}$  ad esso associato.

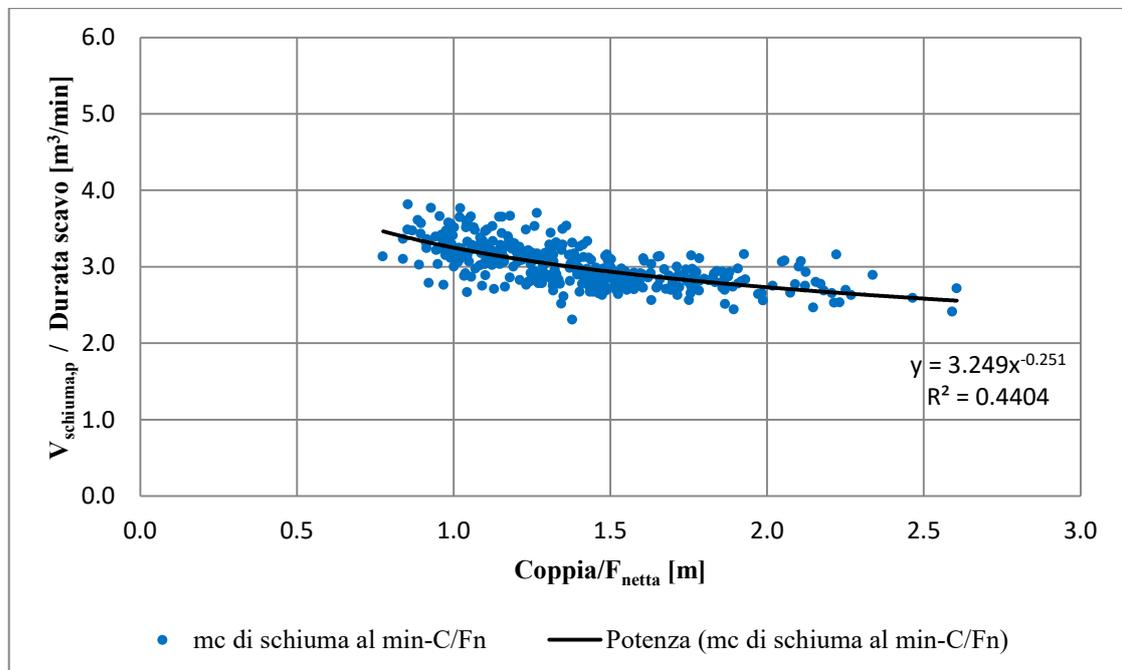


Grafico 7.5: Relazione tra il flusso medio di schiuma e il rapporto  $Coppia/F_{netta}$

Anche questo grafico esprime che ad un aumento del flusso di schiuma corrisponde una riduzione della coppia agente sulla testa di scavo, e tale legame è espresso anch'esso tramite una curva di potenza.

Inoltre si nota che la dispersione della serie di dati rispetto alla curva interpolante è molto limitata, mentre nel legame tra  $FIR_p$  e  $Coppia/F_{netta}$  è più accentuata. Questo è dovuto al fatto che nei vari avanzamenti il flusso della schiuma è poco variabile, ma, poiché la durata dello scavo ha delle oscillazioni più ampie, si generano dei volumi di schiuma diversi e quindi  $FIR$  più variabili.

Anche l'acqua iniettata al fronte e in camera di scavo contribuisce al condizionamento del materiale, tuttavia l'andamento dei volumi di acqua è molto variabile nei vari avanzamenti, per cui non è stato possibile ricavare un legame tra l'acqua aggiunta e i parametri di avanzamento della macchina. Infatti, sommando il flusso medio d'acqua al flusso medio di schiuma di ogni avanzamento e diagrammando in funzione del rapporto  $Coppia/F_{netta}$ , si ha sempre un andamento crescente di tale rapporto al ridursi della somma dei flussi di acqua e di schiuma (Grafico 7.6), ma la dispersione è maggiore rispetto a quella relativa al solo flusso di schiuma (Grafico 7.5).

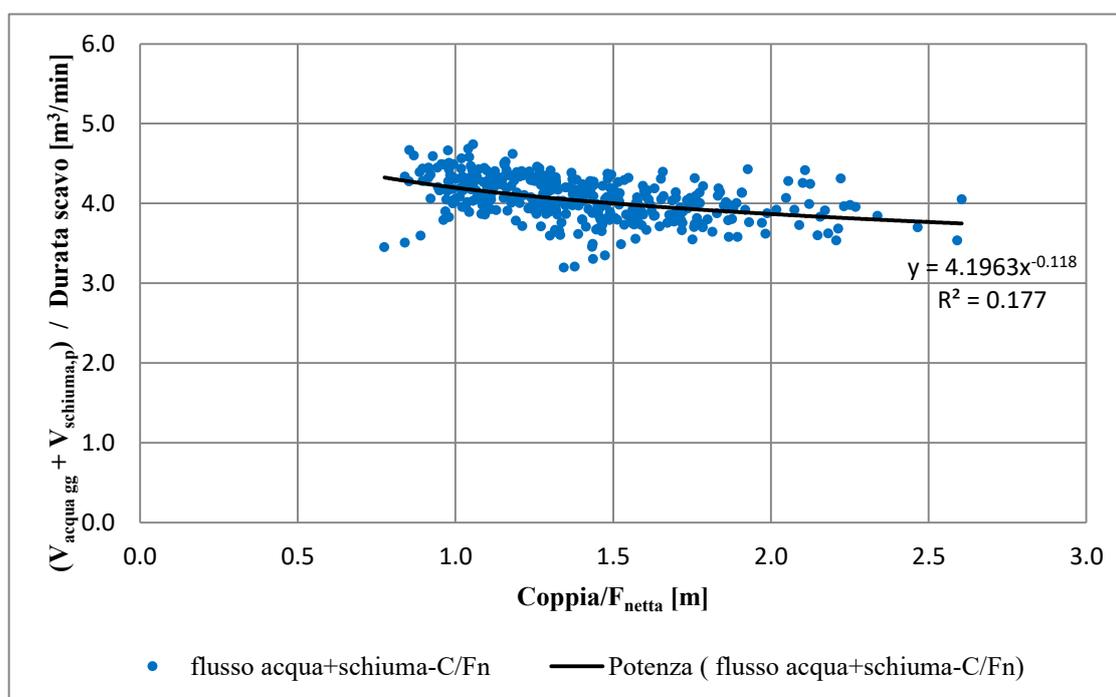


Grafico 7.6: Relazione tra la somma dei flussi medi di acqua e di schiuma e il rapporto  $Coppia/F_{netta}$

### **7.2.1 Commenti sulle relazioni tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento**

Le relazioni ricavate tra i parametri del condizionamento e i parametri di avanzamento confermano anche in termini numerici che il condizionamento del terreno ha effetti sulla potenza richiesta dalla rotazione della testa di scavo. Un buon condizionamento, rappresentato nelle relazioni sopra analizzate con valori più alti di  $FIR_p$  e di flusso di schiuma, comporta una riduzione della coppia agente sulla testa di scavo (depurata dalla dipendenza della forza netta).

Come già detto nel Paragrafo 6.3, il condizionamento ha effetti anche sull'estrazione tramite la coclea, però non è stato possibile ricavare delle relazioni che esprimessero un legame tra i parametri del condizionamento e la coppia della coclea, molto probabilmente perché nell'estrazione entrano in gioco più variabili, quali le pressioni all'entrata e all'uscita della coclea, l'apertura del cassetto di scarico, ma soprattutto la velocità di rotazione della coclea che è generalmente variabile durante l'avanzamento.

Inoltre, come dimostrato da studi in laboratorio (Peila et al., 2012), un buon condizionamento comporta un'usura contenuta degli utensili di scavo.

### **7.3 Relazioni basate sui risultati delle prove di slump in sito**

Sulla base dei risultati della campagna di prove di slump in sito si vuole capire se esiste qualche correlazione tra l'abbassamento al cono (slump) e le quantità di schiuma e di acqua aggiunta utilizzate per il condizionamento. Si ricorda che il solo valore dell'abbassamento al cono non è indicativo della bontà del condizionamento, ma è necessaria anche una valutazione qualitativa del comportamento del materiale durante la prova. Comunque nel caso in esame, ad eccezione di pochi casi, i quali sono stati esclusi dall'indagine, si è sempre avuto un legame diretto tra l'abbassamento al cono e il comportamento del materiale, cioè le prove su un materiale ben condizionato hanno fornito valori maggiori di abbassamento al cono.

Nel Grafico 7.7 si diagramma in ascissa il quantitativo di acqua aggiunta per metro cubo di terreno scavato allo stato sciolto (espressa in  $m^3/m^3$ ) rapportato al volume di schiuma

iniettata per metro cubo di terreno allo stato sciolto, ovvero al  $FIR_p$  non espresso in percentuale, e in ordinata il relativo valore di abbassamento al cono, anch'esso rapportato alla stessa grandezza. In tale grafico si sono considerati anche i risultati relativi al tratto di galleria con notevoli venute d'acqua al fronte.

Invece nel Grafico 7.8 si riportano le stesse grandezze del grafico di cui sopra, ma escludendo i risultati del tratto di galleria con venute di acqua al fronte.

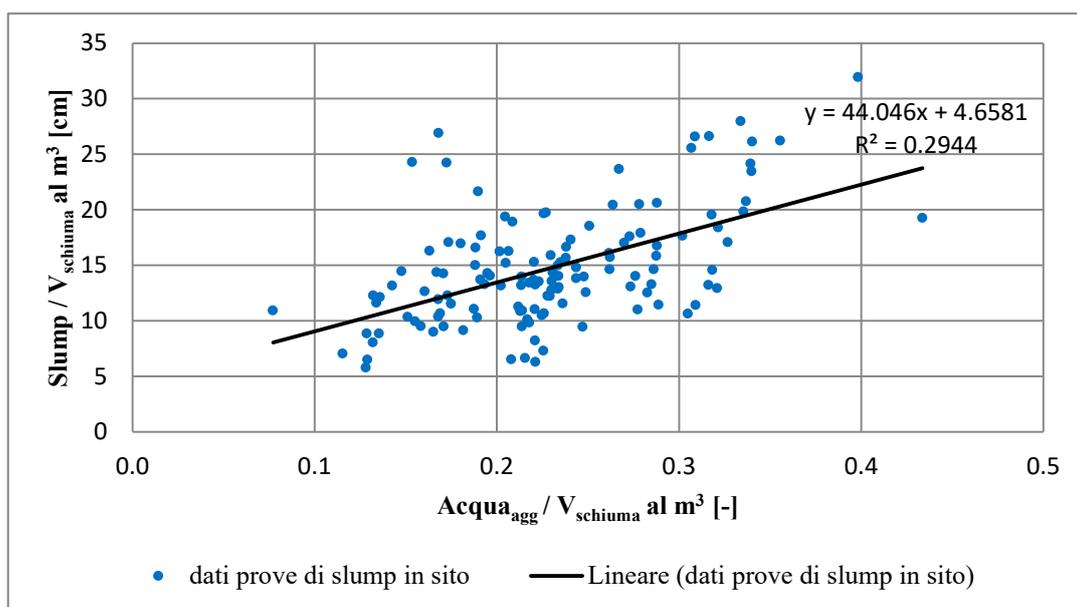


Grafico 7.7: Relazione tra i valori di slump e i quantitativi di schiuma e di acqua aggiunta

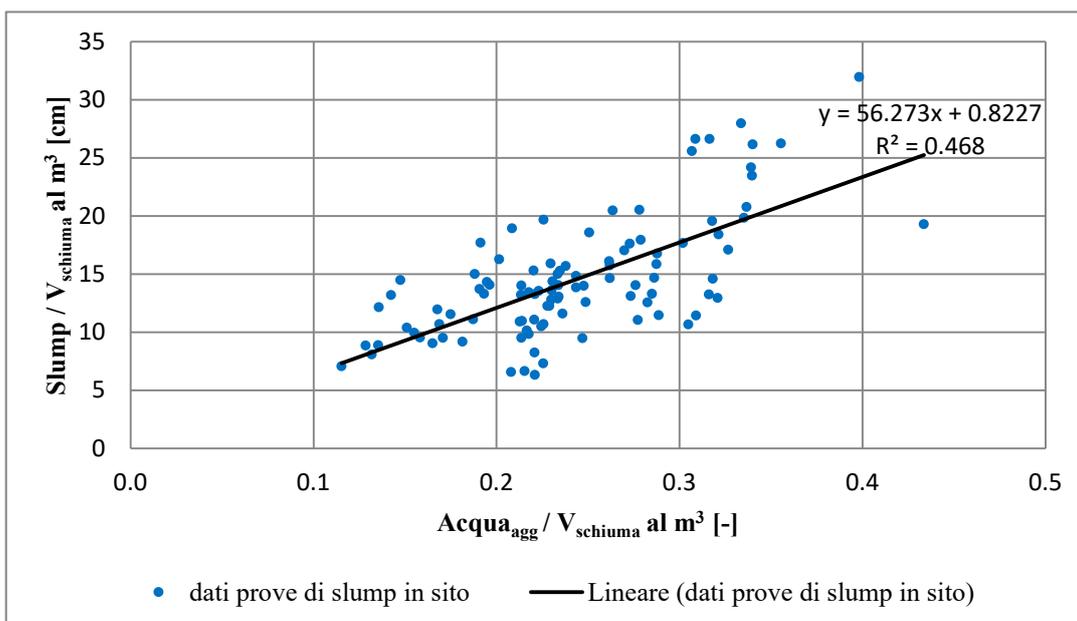


Grafico 7.8: Relazione tra i valori di slump e i quantitativi di schiuma e di acqua aggiunta escludendo le prove di slump nel tratto con venute d'acqua al fronte

In entrambi i grafici si ha un andamento crescente del rapporto ( $\text{Slump} / V_{\text{schiuma,p}}$  al  $\text{m}^3$ ) all'aumentare del rapporto ( $\text{Acqua}_{\text{agg}} / V_{\text{schiuma,p}}$  al  $\text{m}^3$ ), espresso mediante una curva interpolante di tipo lineare. Ma nel Grafico 7.8 l'esclusione dei risultati delle prove di slump nel tratto con venute d'acqua al fronte comporta una dispersione dei punti per valori bassi del rapporto ( $\text{Acqua}_{\text{agg}} / V_{\text{schiuma,p}}$  al  $\text{m}^3$ ) ridotta rispetto al caso in cui si sono considerati tutti i dati.

Premettendo che il  $\text{FIR}_p$  assume dei valori più uniformi nei vari avanzamenti analizzati rispetto al quantitativo di acqua aggiunta, che è più variabile, l'andamento dei dati è del tutto ragionevole perché all'aumentare del rapporto ( $\text{Acqua}_{\text{agg}} / V_{\text{schiuma,p}}$  al  $\text{m}^3$ ), ossia ad un aumento dell'acqua aggiunta rispetto al tasso di iniezione della schiuma, si registra un valore di slump maggiore.

La riduzione della dispersione dei dati rispetto alla retta interpolante, che si evidenzia dal confronto tra i due grafici, si spiega semplicemente considerando che se aumenta il contenuto d'acqua naturale, non volendo rendere il materiale eccessivamente fluido, si va a limitare la quantità di acqua aggiunta. Inoltre la non conoscenza del contenuto d'acqua naturale del terreno in sito rende difficile capire quale sia effettivamente l'influenza dell'acqua aggiunta sul comportamento del materiale.

I calcoli delle grandezze che entrano in gioco nelle relazioni sopra illustrate sono riportati nell'Allegato 3.

### **7.3.1 Commenti sulle relazioni ricavate dai risultati delle prove di slump in sito**

L'accostamento dei parametri del condizionamento ai risultati delle prove di slump è risultato complicato, sia in termini di calcolo dei parametri sia di impostazione, poiché, data l'influenza del tempo, della temperatura e di altri fattori, è veramente difficile capire quale sia il set di parametri relativo al materiale soggetto alla prova di slump.

In particolare, considerando che la generazione della schiuma assume un andamento abbastanza uniforme nel corso dell'avanzamento, sono la variabilità dell'acqua aggiunta, sia durante l'avanzamento che nei vari avanzamenti, e la non conoscenza del contenuto d'acqua naturale del terreno a rendere difficile la definizione dell'acqua effettivamente contenuta nel materiale condizionato, andando così a falsificare il risultato della prova

rispetto ai parametri del condizionamento considerati. Inoltre la grande variabilità del quantitativo di acqua aggiunta non permette di definire delle relazioni tra l'acqua aggiunta e gli altri parametri.

Tuttavia le relazioni espresse nei Grafici 7.7 e 7.8 hanno confermato che non basta soltanto un adeguato volume di schiuma per ottenere un buon condizionamento del terreno, ma si deve utilizzare anche il quantitativo d'acqua idoneo, tenendo conto delle condizioni idrauliche al contorno.

## 8. Conclusioni

Le prove di laboratorio sul condizionamento del terreno sono fondamentali per definire l'idoneità del terreno da scavare all'applicazione della tecnologia EPB e i parametri di riferimento da utilizzare per ottenere un buon condizionamento. Però in sito si possono avere delle condizioni diverse rispetto a quelle definite in laboratorio, sia in termini di caratteristiche del terreno (granulometria, contenuto d'acqua naturale) sia di condizioni operative (pressioni e temperature), per cui è necessario adattare il condizionamento alle condizioni reali.

In particolare, mentre in laboratorio la generazione della schiuma e il condizionamento avvengono in condizioni di pressione atmosferica, in macchina si deve considerare l'influenza delle pressioni in camera di scavo. Quindi, al fine di ottenere i valori desiderati dei parametri FER e FIR, si devono regolare opportunamente i flussi di aria e di liquido generatore sulle varie linee, tenendo conto che il comportamento della schiuma in ambienti in pressione è governato dalla legge di Boyle.

Comunque le prove di slump, anche se sono prove semplici, si confermano un valido strumento per la valutazione della bontà del condizionamento, sia in laboratorio che in sito.

Per il caso in esame, dal confronto tra i risultati delle prove di laboratorio e delle prove in sito è emerso che, mentre i parametri della schiuma FER e FIR utilizzati in sito oscillano intorno ai valori ottimali definiti in laboratorio, per l'acqua aggiunta, in sito è necessario utilizzarne una quantità ben maggiore. Un'ulteriore differenza si ha in termini di curva granulometrica del terreno: quella di laboratorio, definita sulla base di informazioni bibliografiche, risulta caratterizzata da elementi grossolani di dimensioni ridotte rispetto a quelle effettivamente riscontrate in sito. Ma chiaramente in laboratorio non è possibile eseguire le prove sul materiale contenente anche gli elementi di dimensioni maggiori a pochi centimetri.

Inoltre in sito, oltre alle incertezze che si hanno sui parametri del materiale sottoposto a prova, è incognito il contenuto d'acqua naturale e questo rende difficile stabilire quale sia il reale effetto dell'acqua aggiunta sul materiale condizionato.

L'interpretazione dei dati raccolti in sito ha messo in luce un legame tra il quantitativo di schiuma utilizzato per il condizionamento e la coppia agente sulla testa di scavo (depurata dalla dipendenza della forza netta), dimostrando che ad un aumento della schiuma iniettata corrisponde una riduzione della coppia. Invece la definizione di eventuali relazioni tra i parametri del condizionamento e i risultati delle prove di slump in sito è molto più complicata viste le numerose incertezze presenti.

In definitiva si può affermare che il monitoraggio del condizionamento e le prove sperimentali in sito eseguite durante lo scavo hanno permesso di evidenziare alcuni aspetti della tecnologia EPB ancora poco approfonditi. Si spera che questo studio sia di stimolo per lo sviluppo della ricerca in tale campo.

## 9. Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno supportato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine, anche se a me spetta la responsabilità per ogni errore contenuto in questa tesi.

Ringrazio anzitutto il Prof. Ing. Peila Daniele, Relatore, e l'Ing. Martinelli Daniele, Correlatore, i quali mi hanno guidato sapientemente nello svolgimento della tesi, fornendomi indicazioni e spunti veramente importanti.

Un ringraziamento va alla società Pavimental, la quale ha permesso il mio soggiorno in cantiere per il tempo necessario alla raccolta dei dati, ma soprattutto all'Ing. Mandanici Claudio, responsabile dell'ufficio fresa del cantiere di Barberino del Mugello, anch'egli Correlatore, e agli Ingg. Tirinzoni Luca e Pedrini Diego, i quali hanno seguito attivamente la mia attività di tesi durante la permanenza in cantiere.

Vorrei infine ringraziare i miei parenti, i miei amici e soprattutto la mia famiglia, a cui questo lavoro è dedicato, per il supporto morale ed economico fornitomi durante questi anni di studio all'università.

## 10. Bibliografia

ASTM C143/C 143 M – 00, “Standard Test method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”, *Annual book of ASTM Standards*, 2003.

EFNARC, “Specification and guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM) in Soft Ground and Hard Rock”, 2005.

Hanamura T., Kurose J., Aono Y., Okubo H., “Integral studies on mechanical functions of mudding agents and the properties of muddified soils in the EPB shield tunneling technology”, *Underground Space – the 4<sup>th</sup> dimensions of Metropolises*, v. 1, Prague, Taylor & Francis Group, London, 2007.

Jancsecz S., Krause R., Langmaak L., “Advantages of soil conditioning in shield tunnelling: Experiences of LRST Izimir”, 1999.

Leinala T., Grabinky M., Delmar R., Collins J. R., “Effects of foam soil conditioning on EPBM performance”, *North American Tunnelling*, p. 543-552, 2000.

Mooney M., Wu Y., Parikh D., Mori L., “EPB granular soil conditioning under pressure”, *Geotechnical Aspects of Underground Constructions in Soft Ground*, p. 33-46, 2017.

Mori L., Mooney M., Cha M., “Characterizing the influence of stress on foam conditioned sand for EPB tunneling”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 71, p. 454-465, 2018.

Mosavat K., Mooney M., “Examination of excavation chamber pressure on a 17.5 m diameter Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine”, International Conference on Tunnel Boring Machines in Difficult Grounds (TBM DiGs), Singapore, 18-20 November 2015.

Oggeri C., Vinai R., “Soil conditioning and Ground Monitoring for Shield Tunnelling”, *Revista Minelor*, p. 2-14, 2012.

Quebaud S., Sibai M., Henry J.-P., “Use of chemical foam for improvements in drilling by earth-pressure balanced shields in granular soils”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 13, p. 173-180, 1998.

Peila D., Oggeri C., Borio L., “Influence of Granulometry, time and temperature on soil conditioning for EPBS applications”, World Tunnel Congress 2008 – Underground facilities for Better Environment and Safety – India.

Peila D., Picchio A., “Influence of chemical additives used in EPB tunnelling and its management”, *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, p.127-135, 2012.

Peila D., Picchio A., Chierigato A., Barbero M., Dal Negro E., Boscaro A., “Test procedure for assessing the influence of soil conditioning for EPB tunnel on the tool wear”, *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 2012.

Peila D., Picchio A., Chierigato A., “Earth Pressure balance tunnelling in rock masses: Laboratory feasibility study of conditioned process”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 35, p. 55-66, 2013.

Peila D., “Soil Conditioning for EPB Shield Tunnelling”, *KSCE Journal of civil Engeneering*, v. 18, p. 831-836, 2014.

Peña M., “Soil conditioning for sands”, *Tunnels and Tunnelling International*, v. 35, p. 40-42, 2003.

Vinai R., Oggeri C., Peila D., “Soil conditioning of sand for EPB applications: A laboratory research”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 23, p. 308-317, 2008.

## **11. Allegati**

### **11.1 Allegato 1: Parametri di controllo ricavati dai valori registrati dal TPC**

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.frente,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
1233	92	17017	24.4	14.5	2.99	33	23	518	1.6	883	32	915	95
1234	97	15039	22.2	13.6	3.31	35	24	413	1.3	958	34	991	103
1235	76	18455	29.7	17.5	2.52	32	24	529	2.0	733	26	759	108
1236	76	17971	27.0	17.6	2.68	31	24	549	2.1	730	27	757	91
1237	82	15968	23.3	16.6	2.76	31	23	565	2.1	776	28	805	102
1238	87	14808	21.3	15.2	3.08	31	23	478	1.6	841	31	872	82
1239	78	14969	25.7	17.0	2.76	31	23	507	1.9	747	26	773	85
1240	73	16520	29.5	18.4	2.43	32	23	512	2.1	688	25	713	105
1241	86	15135	27.2	15.3	2.89	31	23	572	2.0	839	30	869	111
1242	79	16110	24.2	16.8	2.69	32	23	529	2.0	769	27	796	109
1243	78	16557	28.5	17.2	2.90	32	23	524	2.0	763	27	790	107
1244	88	14827	26.9	15.4	2.98	32	23	543	1.8	866	31	897	103
1245	81	15597	26.1	16.3	2.61	32	22	512	1.9	770	28	798	91
1246	78	16907	29.5	18.2	2.56	33	22	524	2.0	726	27	753	107
1247	84	15078	28.4	17.0	2.69	32	22	533	1.9	803	29	832	112
1248	80	16211	30.2	17.9	2.65	32	23	486	1.8	739	27	766	114
1249	80	13999	28.8	17.8	2.59	32	23	543	1.9	785	27	813	122
1250	80	16374	31.6	18.5	2.36	32	23	563	1.9	752	28	780	127
1251	79	14633	30.9	18.0	2.58	32	23	553	1.8	767	27	795	132
1252	84	13291	29.9	16.7	3.18	32	23	575	1.8	830	28	858	135
1253	89	14555	27.6	15.6	3.24	32	23	601	1.7	787	31	818	131
1254	85	13143	24.5	16.0	3.17	32	23	551	1.6	764	30	794	120
1255	87	12846	27.6	16.7	3.20	32	23	594	1.7	777	31	808	128
1256	78	13774	30.7	17.0	3.05	31	24	536	1.6	693	27	720	138
1257	73	12955	29.4	19.5	2.94	31	24	510	1.7	657	25	682	122
1258	80	14308	28.4	16.4	3.08	31	24	566	1.6	723	28	751	133
1259	79	16270	27.6	18.4	3.16	31	24	565	1.7	782	28	809	115
1260	75	17137	30.4	18.7	3.03	33	24	519	1.6	748	26	774	123
1261	75	16729	31.9	18.5	3.12	32	24	524	1.7	749	26	775	126
1262	87	17565	25.7	15.6	3.23	32	24	565	1.5	869	30	899	139
1263	92	18181	28.3	15.3	3.25	32	24	590	1.5	918	32	950	134
1264	80	18121	30.0	17.2	2.61	32	24	377	1.3	805	28	833	128
1265	67	19542	30.3	20.1	2.75	33	24	517	1.9	655	23	678	116
1266	71	19254	28.7	18.4	2.83	33	24	561	1.9	686	25	711	119
1267	77	18638	28.3	18.8	2.94	33	24	570	1.7	768	28	795	115
1268	77	17992	26.9	18.3	2.97	33	24	528	1.6	765	27	792	117
1269	74	17947	26.1	19.4	2.99	33	24	527	1.7	737	26	763	108
1270	89	17100	25.0	15.8	3.17	33	24	592	1.6	857	31	888	120
1271	90	12416	22.2	17.4	3.03	32	24	585	1.5	887	32	919	110
1272	79	9531	22.3	18.8	2.92	31	24	510	1.5	779	29	807	102
1273	80	10705	23.1	19.0	3.00	30	24	517	1.5	784	29	812	111
1274	83	9966	20.8	17.6	3.04	31	24	563	1.5	805	30	835	108
1275	89	10565	23.3	15.7	3.18	31	23	581	1.5	859	32	891	110
1276	97	12793	27.9	14.4	3.13	32	23	600	1.5	936	35	971	124
1277	86	14269	25.1	17.3	2.77	32	23	590	1.6	843	31	874	122
1278	80	13059	25.1	18.4	2.89	31	23	512	1.8	767	29	796	117
1279	79	14699	26.0	17.0	3.07	31	23	553	1.8	762	28	789	112
1280	80	14791	25.1	17.9	3.11	31	23	569	1.6	769	29	798	114
1281	93	14892	30.5	15.6	2.57	31	23	576	1.4	897	33	930	125
1282	97	13667	27.1	14.4	3.18	32	23	600	1.4	930	34	965	127
1283	105	17080	29.4	13.6	3.00	33	24	553	1.2	1001	38	1038	144
1284	105	17121	31.8	13.6	2.87	35	24	466	1.0	1048	37	1085	149
1285	94	19149	31.0	14.4	2.87	34	24	582	1.4	914	34	948	138
1286	104	20678	30.9	12.5	2.69	34	24	520	1.1	1042	37	1079	141

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.frente,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
1287	107	22772	32.2	12.9	1.98	34	24	538	1.3	939	38	977	127
1288	134	19360	25.5	10.9	2.50	35	24	518	1.1	1144	41	1186	159
1289	135	19687	30.0	10.0	2.58	36	24	529	1.2	1133	40	1173	153
1290	134	20764	29.8	10.0	2.65	38	25	558	1.2	1160	41	1202	150
1291	138	21851	30.1	9.3	2.69	38	25	494	1.2	1044	36	1080	159
1292	154	20886	28.1	8.6	2.67	39	25	565	1.1	1252	47	1300	151
1293	135	21829	28.8	10.3	2.49	39	26	546	1.1	1215	44	1259	143
1294	128	20216	30.1	11.2	2.69	38	26	567	1.1	1328	46	1374	138
1295	118	19092	27.8	10.8	2.83	36	26	518	1.1	1190	42	1232	142
1296	121	22187	30.4	10.1	2.64	36	25	540	1.1	1231	44	1275	142
1297	127	21203	28.6	10.8	2.38	37	26	563	1.1	1259	47	1305	133
1298	111	21282	25.4	13.2	2.50	36	26	484	1.1	1141	41	1181	132
1299	122	21407	27.8	11.9	2.69	34	26	591	1.3	1256	45	1301	132
1300	107	22695	29.6	13.8	2.56	35	26	516	1.2	1108	39	1147	132
1301	93	22384	28.2	15.4	2.24	34	25	460	1.3	955	34	989	120
1302	86	23526	28.7	16.7	2.67	32	25	527	1.7	865	32	897	118
1303	87	22616	27.2	16.1	2.77	32	25	571	1.7	887	32	919	113
1304	94	20653	23.0	15.2	2.72	31	25	637	1.7	970	34	1005	122
1305	99	18721	24.1	14.1	2.89	31	25	506	1.3	1020	36	1056	119
1306	98	18817	26.3	14.4	2.81	32	25	408	1.1	1025	36	1061	125
1307	89	19582	28.0	16.2	2.77	32	25	466	1.3	928	32	960	119
1308	81	17832	28.4	16.9	2.94	32	25	514	1.6	820	29	849	105
1309	81	17476	28.1	18.0	2.75	32	25	513	1.6	832	30	862	107
1310	80	18872	28.4	19.5	2.71	31	24	504	1.6	815	29	844	114
1311	95	19207	27.2	15.4	2.59	32	24	400	1.1	943	33	977	87
1312	93	20919	29.9	15.0	2.42	32	24	378	1.0	943	34	977	121
1313	99	22970	30.1	14.8	2.31	33	24	399	1.0	1007	36	1043	120
1314	96	23128	29.6	15.2	2.44	33	24	387	1.0	911	35	947	119
1315	109	22076	28.5	13.2	2.72	34	24	435	1.0	1142	40	1182	120
1316	96	20909	27.6	14.4	2.59	34	24	390	1.0	1002	35	1037	129
1317	95	18907	26.1	15.2	2.54	31	24	383	1.0	992	35	1027	116
1318	99	19861	26.7	14.6	2.67	32	24	393	1.0	1031	36	1067	111
1319	89	19373	28.8	15.8	2.66	32	24	345	1.0	910	32	942	109
1320	92	19166	25.5	14.6	2.37	31	24	333	1.0	793	30	823	98
1321	97	18245	28.8	14.8	2.41	31	24	351	1.0	842	30	872	116
1322	91	18620	29.9	16.0	2.66	33	24	315	1.0	802	28	830	113
1323	87	19842	30.0	16.5	2.64	32	24	300	1.0	766	27	793	118
1324	92	16639	29.7	15.9	2.76	31	24	315	1.0	821	29	849	124
1325	84	17855	29.4	17.1	2.58	32	24	468	1.6	730	26	756	109
1326	100	21438	26.0	14.2	2.45	31	24	487	1.4	865	31	896	119
1327	137	23508	20.9	10.4	2.09	32	24	537	1.1	1146	43	1189	119
1328	176	23978	20.1	7.8	1.96	35	24	524	0.9	1455	56	1510	126
1329	198	24344	18.9	7.5	1.74	36	24	540	0.8	1533	62	1595	123
1330	120	23977	23.9	11.9	1.78	34	24	384	1.0	1029	38	1067	110
1331	107	21792	23.7	12.9	2.30	33	24	455	1.2	1083	35	1118	98
1332	98	23294	25.6	14.4	2.06	32	24	514	1.5	932	35	967	98
1333	105	23725	25.7	13.4	2.32	33	24	539	1.5	1003	38	1041	101
1334	167	24065	23.2	9.3	2.06	34	24	548	1.0	1567	57	1625	118
1335	162	23753	23.3	9.4	1.94	37	23	579	1.1	1453	53	1506	124
1336	146	22439	22.3	8.8	1.78	36	24	635	1.3	1315	47	1362	110
1337	101	23351	27.5	14.2	1.91	36	24	436	1.4	890	32	922	99
1338	104	20072	26.4	13.6	2.19	34	24	524	1.6	924	33	957	89
1339	89	20891	29.3	16.0	2.54	35	24	527	1.3	827	33	860	104
1340	99	22080	28.9	14.6	2.45	34	24	540	1.2	923	36	959	128

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.fronte,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
1341	131	23253	25.4	10.5	2.10	35	24	543	0.9	1207	48	1255	116
1342	140	21917	26.1	10.0	2.40	37	24	483	0.9	1399	50	1449	116
1343	108	20361	27.5	13.4	2.18	36	24	581	1.2	1071	40	1111	115
1344	100	22074	27.9	13.9	1.96	35	24	523	1.2	990	37	1026	109
1345	124	23262	26.7	11.4	2.01	35	24	532	1.0	1223	46	1269	117
1346	100	21795	28.9	13.9	2.41	36	24	589	1.3	1010	37	1047	108
1347	129	20427	26.5	11.0	2.71	34	24	441	0.9	1338	47	1385	104
1348	103	19957	27.7	12.2	2.44	32	24	431	1.0	972	37	1010	89
1349	104	21356	29.1	12.6	1.98	33	24	350	0.8	978	38	1016	106
1350	167	22473	23.0	8.2	1.40	35	24	464	0.7	1361	60	1421	155
1352	108	13840	18.4	13.5	2.38	25	21	383	0.8	898	42	939	124
1353	88	13542	23.8	17.0	2.76	27	21	569	1.4	757	33	789	124
1354	87	11979	23.6	16.9	2.81	28	21	597	1.5	748	32	780	127
1355	84	15375	26.4	17.1	2.77	28	21	509	1.3	710	32	742	127
1356	83	14194	24.3	17.7	2.65	28	21	543	1.4	710	31	741	120
1357	82	12828	27.2	17.7	2.76	28	22	538	1.5	738	29	767	130
1358	85	9874	24.3	16.0	2.93	28	22	523	1.4	747	30	778	124
1359	97	7789	20.2	14.5	3.18	29	22	543	1.3	839	33	872	141
1360	87	8290	21.6	17.0	2.88	27	22	386	1.0	796	31	826	146
1361	81	10305	21.4	17.8	2.83	26	22	412	1.1	717	29	746	130
1362	84	11353	21.5	17.6	2.75	26	22	455	1.2	746	30	776	135
1363	78	10944	18.5	18.8	2.52	25	22	536	1.6	698	28	726	117
1364	76	9720	18.5	18.5	2.50	26	22	514	1.6	706	26	732	113
1365	80	13957	22.5	18.3	2.56	27	22	535	1.6	718	27	745	120
1366	88	18047	21.3	16.3	2.59	28	22	589	1.5	794	30	824	132
1367	99	19675	20.3	14.8	2.57	28	22	660	1.6	897	34	931	139
1368	91	20707	21.7	16.2	2.24	27	22	595	1.5	803	32	835	132
1369	91	21603	21.6	16.1	2.40	27	22	532	1.4	821	31	852	126
1370	84	21638	22.0	16.7	2.38	27	22	496	1.4	772	29	802	115
1371	80	16981	27.0	18.2	2.76	30	22	533	1.5	721	28	749	118
1372	87	12104	18.7	16.9	2.68	28	22	579	1.5	791	30	822	118
1373	87	14447	22.8	16.7	2.75	29	22	561	1.5	782	30	813	123
1374	85	17469	21.7	17.1	2.70	29	22	552	1.5	776	29	805	137
1375	86	18440	22.7	17.1	2.70	27	22	558	1.5	773	30	803	130
1376	86	17583	20.5	16.5	2.76	28	22	558	1.5	768	30	798	129
1377	86	16154	25.2	17.4	2.74	28	22	519	1.4	781	30	811	122
1378	80	16759	23.0	18.3	2.67	29	22	416	1.2	721	28	748	130
1379	75	17361	24.5	19.3	2.70	27	22	432	1.4	677	26	703	128
1380	90	17091	27.9	14.3	2.91	31	22	527	1.4	791	28	818	142
1381	95	15434	19.7	15.6	2.58	29	22	501	1.2	866	33	899	131
1382	82	13322	19.4	17.8	2.69	29	23	486	1.4	733	28	761	121
1383	75	12402	26.1	18.6	3.11	28	22	456	1.5	805	29	834	123
1384	84	11626	24.7	16.5	3.25	29	22	513	1.5	911	33	944	142
1385	94	10336	18.2	15.8	2.85	29	22	574	1.5	999	36	1034	144
1386	93	13398	29.8	15.2	2.66	29	22	582	1.5	936	38	974	144
1387	88	14468	23.6	16.9	2.83	29	22	549	1.5	872	39	911	139
1388	83	15610	25.8	17.6	2.75	30	23	508	1.5	845	35	880	132
1389	84	17168	24.7	17.0	2.73	30	23	514	1.5	840	34	874	129
1390	90	16620	21.9	15.8	2.88	28	23	547	1.5	825	30	855	140
1391	97	17051	23.9	14.7	2.79	29	23	591	1.4	854	33	887	140
1392	99	15783	23.5	14.5	2.90	30	23	554	1.3	906	33	939	140
1393	89	18501	27.4	16.2	2.77	31	23	424	1.1	846	30	876	137
1394	85	16962	26.8	16.8	2.76	30	23	470	1.3	798	29	827	131
1395	80	16028	26.5	17.9	2.80	29	23	445	1.3	738	27	765	130

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.fronte,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
1396	86	15106	23.8	16.6	2.80	29	23	482	1.3	793	29	822	132
1397	91	13696	25.5	15.1	2.94	29	23	506	1.3	860	30	890	139
1398	96	14978	27.7	15.0	2.95	29	23	521	1.3	941	31	972	144
1399	93	18267	29.3	15.8	2.73	29	23	512	1.3	896	30	927	142
1400	98	18541	23.2	14.3	2.64	30	23	533	1.3	910	32	942	145
1401	92	20694	21.9	15.4	2.63	29	23	439	1.1	853	30	883	137
1402	93	21240	22.7	15.8	2.59	28	23	436	1.1	882	31	912	136
1403	89	18859	21.2	15.7	2.56	29	23	420	1.1	855	30	885	135
1404	92	16788	21.8	15.5	2.75	30	23	452	1.1	891	30	921	145
1405	96	14875	26.3	14.9	2.68	31	23	516	1.2	907	32	939	137
1406	90	13511	24.9	15.8	2.70	31	23	495	1.3	865	30	894	136
1407	85	13035	23.1	17.2	2.73	30	23	475	1.3	826	28	854	119
1408	86	16356	23.0	16.7	2.70	29	23	511	1.4	812	28	840	125
1409	84	15694	23.8	17.2	2.73	29	23	530	1.5	807	28	834	123
1410	90	17484	24.4	15.9	2.69	30	23	562	1.5	854	30	884	138
1411	82	17419	22.7	17.4	2.68	29	23	552	1.6	759	27	786	121
1412	87	17365	24.7	17.0	2.81	28	23	593	1.6	823	29	852	124
1413	93	16288	27.3	15.6	3.03	29	23	521	1.3	891	32	922	138
1414	85	18274	26.5	17.0	2.88	31	23	471	1.3	806	29	835	129
1415	84	20100	25.8	17.7	2.83	30	23	473	1.3	787	29	816	136
1416	79	20044	26.9	17.7	2.85	30	23	434	1.3	740	27	766	125
1417	88	20178	26.0	16.7	2.68	30	23	568	1.5	828	30	858	146
1418	87	22019	24.3	16.5	2.68	30	23	559	1.5	819	30	849	130
1419	87	17829	26.2	16.4	2.67	30	23	566	1.5	824	30	854	142
1420	90	18349	26.2	16.3	2.54	30	23	598	1.6	835	31	866	138
1421	89	16013	23.6	16.7	2.73	30	23	562	1.5	837	29	866	137
1422	86	14490	26.6	16.7	2.90	30	23	420	1.2	829	28	858	148
1423	89	13354	22.7	16.6	2.89	29	23	501	1.4	844	29	873	149
1424	78	18900	28.7	18.3	2.82	29	23	437	1.4	736	26	762	139
1425	82	18770	29.9	17.2	2.85	29	23	538	1.5	770	27	797	144
1426	84	18388	27.3	17.4	2.67	29	23	542	1.6	799	28	827	150
1427	95	18287	28.1	14.9	2.49	30	23	597	1.5	872	31	904	155
1428	89	18266	27.3	16.4	2.52	29	23	418	1.1	833	30	863	150
1429	91	20002	25.4	15.7	2.83	30	23	418	1.1	862	31	893	159
1430	99	18397	26.5	14.2	2.57	29	22	450	1.1	909	33	941	166
1431	90	18714	27.8	16.0	2.63	29	22	431	1.1	858	31	888	151
1432	89	18713	24.8	16.1	2.69	29	22	528	1.3	831	30	861	146
1433	92	17697	22.0	15.7	2.64	28	22	522	1.3	826	32	858	134
1434	87	19466	27.8	16.6	2.67	28	22	516	1.4	773	30	802	152
1435	101	18396	23.1	14.1	2.51	29	22	524	1.2	892	35	926	147
1436	95	19274	27.7	15.2	2.64	30	22	494	1.2	841	33	874	156
1437	90	17854	27.2	15.6	2.63	30	22	467	1.2	815	31	846	147
1438	89	18294	27.8	16.3	2.86	30	22	461	1.2	809	30	839	145
1439	94	15535	21.0	14.5	2.92	29	22	438	1.1	841	32	873	149
1440	120	14641	23.0	12.7	2.88	30	22	479	0.9	1106	42	1148	165
1441	108	14673	25.5	13.3	2.72	29	22	432	0.9	1007	37	1045	153
1442	102	14378	26.3	14.6	2.63	30	22	458	1.0	953	35	988	156
1443	96	14225	28.7	15.1	2.81	29	22	468	1.1	879	33	912	144
1444	93	13175	23.2	15.3	2.73	29	23	451	1.1	863	32	895	150
1445	96	14581	25.5	14.8	2.72	28	23	536	1.3	876	33	909	144
1446	92	12685	20.0	15.8	2.58	28	23	524	1.3	837	32	868	133
1447	96	14681	24.4	15.1	2.67	27	23	552	1.3	879	33	912	153
1448	92	13490	25.2	16.0	2.69	28	23	523	1.3	801	32	833	148
1449	95	15228	25.9	15.2	2.71	28	23	541	1.3	869	32	902	150

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.fronte,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	
1450	111	11320	15.0	12.9	2.58	26	23	559	1.2	1038	38	1076	137
1451	107	14038	18.8	13.5	2.76	27	23	467	1.0	1003	37	1040	136
1452	99	12569	17.5	15.2	2.59	26	23	436	1.0	936	35	971	134
1453	88	12988	18.2	16.1	2.12	26	23	539	1.4	798	31	829	115
1454	92	15149	22.4	16.4	2.48	27	23	559	1.4	840	32	872	122
1455	85	15343	24.2	16.6	2.54	29	23	519	1.4	777	30	807	127
1456	97	15784	27.5	14.9	2.78	29	23	482	1.1	909	33	942	154
1457	107	16219	21.4	13.9	2.73	29	23	468	1.0	985	37	1023	158
1458	106	15214	23.4	13.3	2.93	29	23	456	1.0	993	36	1029	140
1459	107	16115	20.5	13.6	2.90	30	23	458	1.0	1011	37	1049	135
1460	113	18313	26.9	13.0	2.93	30	23	463	1.0	1074	39	1113	148
1461	98	18393	27.3	14.7	2.85	31	23	516	1.3	909	34	943	136
1462	94	17616	27.8	15.5	2.92	30	23	554	1.5	868	32	900	140
1463	91	15938	23.1	15.8	2.97	29	23	538	1.5	837	31	868	121
1464	113	15650	24.6	13.0	2.84	29	23	593	1.3	1035	39	1074	131
1465	113	17289	28.0	12.5	2.79	32	23	495	1.1	1078	38	1116	156
1466	116	14896	26.1	12.5	2.84	32	23	435	1.1	1011	34	1045	148
1467	113	16685	23.9	12.9	2.85	32	23	530	1.2	1120	38	1158	145
1468	109	16764	26.3	13.3	2.93	31	24	498	1.1	1053	38	1091	140
1469	108	16804	24.4	13.5	2.78	31	24	577	1.3	1014	38	1052	128
1470	105	16962	26.5	13.7	2.84	31	24	555	1.3	1003	36	1039	132
1471	115	16811	26.9	12.7	2.87	32	23	554	1.2	1121	40	1161	190
1472	102	15248	27.9	13.5	2.85	32	23	480	1.2	991	34	1026	136
1473	105	12921	22.1	14.1	2.58	24	18	542	1.3	1003	36	1039	134
1474	103	12169	19.8	14.2	2.80	26	18	545	1.3	1013	35	1048	130
1475	101	11439	21.5	14.3	2.78	27	19	531	1.3	970	34	1004	128
1476	89	12981	28.7	16.1	2.98	28	19	460	1.3	777	30	807	132
1477	88	12103	26.3	16.4	3.10	29	19	444	1.3	883	29	912	128
1478	103	13207	23.2	13.5	3.07	30	19	471	1.2	1014	35	1049	137
1479	105	12386	19.4	14.0	2.89	29	20	490	1.2	1041	35	1077	144
1480	99	12175	19.4	14.7	2.90	28	20	562	1.4	970	34	1004	120
1481	101	12591	24.3	14.4	2.98	28	20	549	1.4	996	34	1030	127
1482	104	12232	22.8	13.7	3.03	30	20	546	1.3	1025	35	1060	138
1483	94	15853	27.5	15.8	2.91	30	20	479	1.3	937	31	968	138
1485	109	17573	20.3	13.3	2.69	24	18	599	1.2	1151	37	1188	130
1486	112	17567	21.9	12.3	3.11	27	18	596	1.0	1192	37	1229	158
1487	105	17509	22.5	13.2	3.02	28	19	604	1.1	1104	35	1139	151
1488	108	19870	27.3	12.8	2.94	30	19	594	1.0	1155	36	1190	157
1489	104	20811	25.7	14.4	2.77	31	20	608	1.0	1119	36	1155	158
1490	104	21111	22.3	13.8	2.78	30	20	594	1.0	1132	36	1168	159
1491	94	21716	25.2	15.3	2.63	29	21	619	1.2	985	32	1017	152
1492	98	21356	26.0	14.8	2.88	30	21	554	1.0	1065	33	1098	150
1493	97	19576	24.8	15.2	2.85	30	21	545	1.0	1052	33	1085	150
1494	99	20187	26.0	13.9	3.01	31	22	563	1.0	1066	33	1099	163
1495	97	19642	26.9	15.0	3.07	31	22	534	1.0	1040	32	1073	159
1496	96	20532	26.7	15.0	3.15	30	22	568	1.1	1016	32	1048	154
1497	109	21220	24.0	13.6	2.84	30	22	569	1.0	1016	32	1047	162
1498	93	20140	22.0	15.6	2.65	27	22	613	1.3	838	26	865	140
1499	92	21699	22.6	15.9	2.79	29	23	605	1.3	829	26	855	137
1500	95	22685	20.9	15.6	2.65	29	23	601	1.2	865	27	892	146
1501	99	21782	21.1	14.9	2.69	28	22	611	1.2	902	28	931	139
1502	97	19240	20.0	15.0	2.82	29	22	613	1.2	969	30	999	137
1503	93	19454	22.3	14.8	2.80	29	22	555	1.1	975	31	1006	143
1504	93	17818	23.1	15.4	2.86	27	22	599	1.1	991	31	1022	141

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.frente,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
1505	98	18210	22.7	14.8	2.92	29	22	612	1.1	1039	32	1071	154
1506	91	18900	23.9	15.9	2.81	29	22	566	1.1	979	31	1010	140
1507	92	19351	24.3	16.0	2.83	29	22	624	1.3	970	30	999	141
1508	96	19000	23.8	15.0	2.76	30	22	613	1.2	1024	32	1056	137
1509	100	19119	23.7	14.7	2.71	29	22	612	1.1	1070	34	1104	144
1510	107	21074	25.4	13.4	2.77	31	22	629	1.1	1139	36	1175	159
1511	105	20180	22.8	13.8	2.77	29	22	550	1.0	1126	36	1162	147
1512	109	21983	20.3	13.4	2.54	29	22	559	0.9	1151	38	1189	149
1513	105	22564	20.2	14.1	2.40	28	22	595	1.0	1102	36	1138	141
1514	98	21182	21.6	14.9	2.61	31	22	543	1.0	1026	33	1059	148
1515	97	20150	19.9	15.1	2.68	30	22	612	1.2	1029	33	1062	139
1516	94	20498	22.7	15.0	2.72	31	22	595	1.2	993	32	1024	132
1517	101	21292	29.3	14.4	2.75	31	22	610	1.2	1063	34	1096	148
1518	99	21050	25.1	14.3	2.87	32	23	589	1.2	1022	33	1056	137
1519	110	23511	20.1	13.7	2.37	31	23	591	1.0	1161	38	1199	124
1520	111	23050	21.8	13.1	2.70	30	23	560	0.9	1185	38	1222	147
1521	108	23651	21.7	13.5	2.53	31	23	537	0.9	1145	37	1182	153
1522	107	23855	20.7	13.5	2.36	30	23	552	0.9	1124	37	1161	157
1523	117	22460	18.9	12.4	2.51	30	23	586	0.9	1240	40	1280	153
1524	109	23615	23.0	13.2	2.58	31	23	607	1.1	1095	37	1132	145
1525	103	23754	26.5	12.7	2.90	33	23	519	0.9	1090	35	1125	147
1526	111	23237	22.1	13.0	2.84	30	23	578	1.0	1152	37	1189	161
1527	108	22526	24.8	13.9	2.92	31	23	585	1.0	1146	36	1182	161
1528	100	23314	21.3	14.5	2.60	30	23	610	1.2	1051	34	1085	141
1529	101	23608	24.3	14.4	2.69	31	23	614	1.1	1059	34	1092	139
1530	96	22161	24.1	14.9	2.70	31	23	612	1.2	1008	32	1040	136
1531	107	23579	23.2	13.6	2.75	31	23	613	1.1	1138	36	1175	153
1532	102	23276	24.3	14.6	2.75	31	23	618	1.2	1069	34	1103	144
1533	97	23284	22.5	15.1	2.52	30	23	601	1.2	1023	33	1056	142
1534	99	23402	26.9	14.8	2.85	31	23	622	1.2	1032	33	1064	154
1535	94	22810	26.5	15.3	2.81	32	23	541	1.1	977	31	1008	157
1536	98	22981	24.0	14.9	2.62	31	24	498	0.9	1059	34	1093	156
1537	96	21963	24.5	15.2	2.78	30	24	506	1.0	1025	33	1058	142
1538	94	22509	26.0	15.6	2.73	31	24	502	1.0	999	32	1030	153
1539	93	21534	28.0	15.6	2.61	31	24	602	1.3	961	31	993	143
1540	101	22541	30.8	15.0	2.64	31	24	602	1.3	1030	34	1064	157
1541	104	23194	30.6	14.1	2.66	32	24	606	1.3	1071	35	1105	155
1542	101	22513	29.7	14.4	2.77	33	24	606	1.3	1044	34	1078	156
1543	93	22763	29.1	15.7	2.71	32	24	548	1.3	946	31	976	144
1544	100	23340	25.7	14.3	2.59	31	24	619	1.3	1045	34	1078	149
1545	98	23514	23.4	14.6	2.53	31	25	519	1.1	1019	33	1053	149
1546	97	23531	24.5	15.1	2.25	30	25	551	1.1	1001	34	1034	146
1547	95	23590	23.0	15.3	2.40	29	24	510	1.0	1009	33	1041	145
1548	121	23865	25.9	11.6	2.86	30	24	617	1.0	1259	40	1299	168
1549	151	23716	25.1	9.8	2.52	34	24	575	0.7	1564	53	1617	200
1550	121	24345	28.9	11.8	2.51	35	24	568	0.9	1228	41	1269	167
1551	123	25368	30.7	11.2	2.58	36	24	579	0.9	1289	42	1331	181
1552	107	23730	25.5	12.8	2.56	35	25	506	0.9	1119	36	1155	158
1553	115	23686	23.2	11.9	2.39	32	25	544	0.9	1179	39	1218	160
1554	99	23495	23.0	13.9	2.45	31	25	474	1.0	1027	33	1061	146
1555	104	24348	22.2	13.9	2.43	32	25	557	1.1	1055	35	1089	151
1556	112	24520	23.1	13.0	2.29	30	24	609	1.1	1132	38	1170	155
1557	120	23738	26.7	10.6	2.46	34	24	542	1.0	1179	39	1218	167
1558	104	22914	22.3	12.7	2.47	34	24	476	1.0	1059	34	1092	158

Anello	Parametri avanzamento				Press. e Temp. in camera			Parametri condizionamento					
	Durata scavo [min]	F <sub>netta,m</sub> [kN]	Coppia <sub>m</sub> [MNm]	Penetr <sub>m</sub> [mm/rot]	P <sub>supp.fronte,m</sub> [bar]	T <sub>m,centro</sub> [°C]	T <sub>m,esterno</sub> [°C]	V <sub>Tensioattivo</sub> [l]	C <sub>m</sub> [%]	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua tot. cond. [m <sup>3</sup> ]
1559	106	23218	25.4	13.3	2.45	32	24	494	1.0	1078	35	1113	156
1560	111	23086	32.0	12.5	2.61	33	24	537	1.0	1141	35	1177	159
1561	107	23412	28.0	13.4	2.48	34	24	526	1.1	1085	34	1120	158
1562	104	23374	29.0	13.9	2.56	33	24	533	1.1	1048	33	1081	153
1563	101	21824	30.3	14.6	2.59	33	24	463	1.2	985	32	1017	142
1564	114	22898	29.3	12.7	2.60	35	24	465	1.1	1132	36	1168	153
1565	120	23917	27.4	11.9	2.49	35	24	499	1.1	1205	38	1243	163
1566	111	23478	26.6	13.1	2.50	34	24	483	1.2	1094	34	1129	156
1567	113	24536	28.2	13.4	2.31	33	24	512	1.2	1108	36	1144	152
1568	102	23615	26.2	13.9	2.36	32	24	450	1.2	1005	32	1037	141
1569	110	24300	27.3	13.4	2.18	32	24	566	1.4	1054	34	1089	151
1570	102	23817	27.7	13.9	2.40	32	24	513	1.4	973	31	1004	138
1571	114	24411	24.8	12.9	2.38	32	24	538	1.3	1107	35	1142	149
1572	118	24412	24.2	12.5	2.49	32	25	501	1.2	1153	37	1190	144
1573	125	24256	23.6	11.5	2.40	32	24	515	1.1	1232	39	1271	155
1574	115	23685	22.5	12.9	2.35	31	24	511	1.2	1122	36	1157	142
1575	136	24655	26.3	11.0	2.32	32	24	612	1.2	1313	43	1355	153
1576	118	24045	24.6	12.6	2.35	34	24	484	1.1	1154	38	1191	146
1577	122	24610	25.1	11.7	2.32	33	24	627	1.4	1130	37	1167	140
1578	114	23206	25.6	13.0	2.41	33	24	576	1.3	1075	35	1110	136
1579	119	23768	26.4	12.0	2.44	33	24	612	1.4	1138	36	1174	136
1580	113	22770	28.6	12.8	2.55	34	24	583	1.4	1060	33	1093	136
1581	123	24514	24.3	11.8	2.19	32	24	580	1.2	1174	39	1212	147
1582	135	24095	23.8	10.2	2.12	33	24	493	0.9	1225	43	1268	149
1583	123	24220	25.9	11.8	1.97	33	24	462	0.9	1155	41	1195	145
1584	140	23864	23.2	10.4	2.07	32	24	594	1.1	1270	45	1314	152
1585	143	23965	26.7	10.0	2.03	34	24	598	1.1	1273	46	1318	156
1586	149	24121	28.5	9.9	1.90	35	24	625	1.0	1280	48	1327	166
1587	135	24332	28.7	9.9	1.98	37	24	536	0.9	1335	48	1383	177
1588	148	24617	27.7	8.8	2.36	36	25	576	0.9	1581	53	1634	178
1589	186	24567	26.2	7.9	2.44	37	25	569	0.8	2025	66	2091	185
1590	125	24585	26.0	9.6	2.27	37	26	580	1.0	1345	45	1389	178
1591	118	22809	26.4	11.6	2.11	33	26	613	1.2	1209	42	1251	139
1592	116	23207	28.6	11.6	2.30	34	26	602	1.3	1207	40	1247	142
1593	119	23558	27.2	11.8	2.31	35	26	610	1.3	1219	41	1260	147
1594	115	23469	23.9	12.4	2.12	33	26	582	1.2	1188	40	1228	144
1595	124	24612	24.2	11.7	2.19	31	26	625	1.2	1276	43	1319	138
1596	122	24432	25.5	11.7	2.21	33	26	560	1.1	1266	42	1308	131
1597	130	24769	24.8	11.2	2.29	33	26	589	1.1	1356	45	1401	147
1598	113	24499	28.9	13.0	2.41	34	26	577	1.3	1151	38	1189	139
1599	120	24562	27.2	12.1	2.28	34	25	601	1.3	1242	41	1283	136
1600	102	23225	27.3	14.0	2.28	34	25	591	1.5	1030	34	1063	130
1601	123	24441	23.9	12.1	2.30	31	25	632	1.3	1270	41	1311	141
1602	112	23422	24.6	13.0	2.19	31	25	506	1.2	1170	38	1208	131
1603	124	25327	22.5	11.5	2.16	31	25	632	1.3	1286	41	1328	137
1604	114	24750	21.2	12.8	1.98	31	25	531	1.2	1185	39	1224	135
1605	119	25212	23.4	12.2	2.00	31	25	565	1.2	1225	40	1265	137
1606	121	24642	23.6	12.2	2.06	31	25	604	1.3	1236	40	1276	139
1607	133	25551	22.9	10.6	2.16	31	24	618	1.2	1361	43	1404	136

## **11.2 Allegato 2: Calcolo dell'acqua aggiunta e dei parametri FER, FIR, TR**

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp.fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1233	882.7	31.9	914.6	2.99	253.1	517.9	63.3	96.1	28.7	7.9	139.0	38.5	0.8
1234	957.6	33.8	991.4	3.31	256.2	413.4	69.7	106.0	29.3	7.6	150.6	38.9	0.6
1235	732.7	26.0	758.7	2.52	234.3	529.2	82.5	125.3	29.2	9.0	115.3	35.6	0.8
1236	730.3	27.1	757.4	2.68	225.8	548.9	64.6	98.1	27.9	8.3	115.1	34.3	0.8
1237	776.0	28.5	804.5	2.76	235.2	565.2	74.1	112.6	28.2	8.3	122.2	35.7	0.9
1238	841.4	31.1	872.5	3.08	237.3	478.0	51.1	77.6	28.1	7.6	132.6	36.1	0.7
1239	747.4	25.8	773.3	2.76	224.9	506.9	59.2	89.9	29.9	8.7	117.5	34.2	0.8
1240	687.5	25.4	712.9	2.43	225.6	512.0	79.7	121.2	28.1	8.9	108.3	34.3	0.8
1241	839.0	29.5	868.5	2.89	245.4	571.5	82.3	125.0	29.4	8.3	132.0	37.3	0.9
1242	769.1	27.2	796.3	2.69	235.6	529.5	82.6	125.6	29.3	8.7	121.0	35.8	0.8
1243	762.7	27.1	789.8	2.90	222.7	524.0	80.2	121.9	29.1	8.2	120.0	33.8	0.8
1244	865.6	31.1	896.8	2.98	248.4	542.7	72.2	109.7	28.8	8.0	136.3	37.8	0.8
1245	770.0	28.1	798.0	2.61	241.4	512.3	63.9	97.1	28.4	8.6	121.3	36.7	0.8
1246	725.8	26.9	752.6	2.56	231.0	523.9	81.0	123.1	28.0	8.6	114.4	35.1	0.8
1247	802.6	28.9	831.5	2.69	246.4	533.3	84.0	127.6	28.7	8.5	126.3	37.4	0.8
1248	738.7	27.3	766.0	2.65	229.8	485.9	87.4	132.9	28.1	8.4	116.4	34.9	0.7
1249	785.3	27.5	812.8	2.59	246.2	542.7	95.4	144.9	29.6	9.0	123.5	37.4	0.8
1250	752.2	27.7	780.0	2.36	251.7	562.6	99.9	151.7	28.1	9.1	118.5	38.2	0.9
1251	767.3	27.3	794.6	2.58	241.6	553.2	105.5	160.3	29.1	8.9	120.7	36.7	0.8
1252	829.9	28.2	858.1	3.18	226.8	574.5	107.6	163.5	30.5	8.0	130.4	34.5	0.9
1253	787.2	31.0	818.2	3.24	216.7	600.7	100.6	152.9	26.4	7.0	124.3	32.9	0.9
1254	764.0	30.2	794.2	3.17	213.5	551.2	90.2	137.1	26.3	7.1	120.7	32.4	0.8
1255	777.1	30.8	807.8	3.20	215.7	594.4	98.2	149.3	26.3	7.0	122.8	32.8	0.9
1256	692.5	27.2	719.7	3.05	198.2	535.6	111.6	169.6	26.5	7.3	109.4	30.1	0.8
1257	656.8	25.4	682.2	2.94	192.1	509.7	96.7	147.0	26.9	7.6	103.7	29.2	0.8
1258	723.2	28.1	751.3	3.08	205.4	565.7	105.3	160.0	26.7	7.3	114.2	31.2	0.9
1259	781.6	27.7	809.2	3.16	215.6	565.0	88.3	134.2	29.3	7.8	123.0	32.8	0.9
1260	747.6	26.2	773.7	3.03	211.7	519.0	97.2	147.7	29.6	8.1	117.6	32.2	0.8
1261	749.2	26.0	775.3	3.12	208.0	524.5	100.8	153.2	29.8	8.0	117.8	31.6	0.8
1262	868.6	30.0	898.6	3.23	235.4	565.1	109.9	167.0	29.9	7.8	136.5	35.8	0.9
1263	918.0	31.6	949.6	3.25	247.3	590.0	102.9	156.4	30.1	7.8	144.3	37.6	0.9
1264	805.0	28.2	833.2	2.61	251.0	377.2	100.2	152.3	29.6	8.9	126.6	38.1	0.6
1265	655.0	23.3	678.4	2.75	198.0	516.7	92.9	141.1	29.1	8.5	103.1	30.1	0.8
1266	686.4	24.7	711.2	2.83	203.8	560.5	94.6	143.7	28.8	8.2	108.1	31.0	0.9
1267	767.6	27.7	795.3	2.94	222.7	570.4	88.1	133.9	28.7	8.0	120.8	33.8	0.9
1268	764.6	26.9	791.5	2.97	219.7	528.0	91.0	138.3	29.4	8.2	120.3	33.4	0.8
1269	737.0	26.1	763.2	2.99	210.9	527.4	82.7	125.6	29.2	8.1	116.0	32.0	0.8
1270	856.7	31.4	888.1	3.17	236.9	592.5	89.1	135.4	28.3	7.5	134.9	36.0	0.9
1271	886.7	32.3	919.0	3.03	252.2	584.8	78.7	119.6	28.4	7.8	139.6	38.3	0.9
1272	778.8	28.6	807.3	2.92	227.1	509.7	74.3	112.9	28.3	8.0	122.7	34.5	0.8
1273	783.7	28.6	812.3	3.00	224.7	516.9	82.4	125.3	28.4	7.8	123.4	34.1	0.8
1274	805.3	29.9	835.2	3.04	229.2	563.4	79.0	120.0	28.0	7.7	126.9	34.8	0.9
1275	858.5	32.2	890.7	3.18	237.3	580.9	78.3	119.0	27.7	7.4	135.3	36.1	0.9
1276	936.2	34.6	970.8	3.13	261.1	599.8	90.4	137.4	28.0	7.5	147.5	39.7	0.9
1277	843.3	31.2	874.5	2.77	254.7	590.0	91.2	138.6	28.0	8.2	132.9	38.7	0.9
1278	766.9	28.6	795.5	2.89	225.9	512.1	88.9	135.1	27.8	7.9	120.9	34.3	0.8
1279	761.6	27.8	789.3	3.07	215.0	553.0	84.6	128.5	28.4	7.7	119.9	32.7	0.8
1280	769.1	28.6	797.7	3.11	215.8	568.7	85.7	130.2	27.9	7.6	121.2	32.8	0.9
1281	897.4	33.0	930.4	2.57	284.1	576.2	92.3	140.2	28.2	8.6	141.4	43.2	0.9
1282	930.2	34.4	964.6	3.18	257.1	600.3	92.8	141.1	28.1	7.5	146.6	39.1	0.9
1283	1000.6	37.5	1038.1	3.00	288.0	552.8	107.3	163.1	27.7	7.7	157.7	43.8	0.8
1284	1047.6	37.4	1085.0	2.87	308.0	465.9	112.5	171.0	29.0	8.2	164.9	46.8	0.7
1285	914.3	33.6	947.9	2.87	269.8	581.8	104.6	159.0	28.2	8.0	144.0	41.0	0.9
1286	1041.7	37.4	1079.0	2.69	319.5	519.7	103.9	157.9	28.9	8.6	164.0	48.5	0.8

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp.fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1287	939.1	38.1	977.2	1.98	353.1	537.9	89.1	135.4	25.6	9.3	148.5	53.6	0.8
1288	1144.2	41.5	1185.7	2.50	368.4	517.8	118.3	179.7	28.6	8.9	180.2	56.0	0.8
1289	1132.7	40.3	1173.0	2.58	356.7	529.4	113.5	172.5	29.1	8.9	178.2	54.2	0.8
1290	1160.2	41.5	1201.7	2.65	359.3	558.4	109.6	166.5	29.0	8.7	182.6	54.6	0.8
1291	1043.7	36.2	1079.9	2.69	319.3	494.2	123.8	188.0	29.8	8.8	164.1	48.5	0.8
1292	1252.4	47.2	1299.6	2.67	388.5	564.6	104.1	158.1	27.5	8.2	197.5	59.0	0.9
1293	1215.2	44.2	1259.4	2.49	392.3	545.6	99.2	150.7	28.5	8.9	191.4	59.6	0.8
1294	1327.5	46.2	1373.7	2.69	405.5	566.7	92.8	141.0	29.7	8.8	208.7	61.6	0.9
1295	1190.1	41.8	1232.0	2.83	352.4	517.7	100.5	152.6	29.5	8.4	187.2	53.5	0.8
1296	1231.3	43.8	1275.2	2.64	382.5	540.4	98.7	150.0	29.1	8.7	193.8	58.1	0.8
1297	1258.6	46.7	1305.3	2.38	419.1	562.9	87.0	132.2	28.0	9.0	198.3	63.7	0.9
1298	1140.7	40.6	1181.4	2.50	366.9	483.8	91.4	138.9	29.1	9.0	179.5	55.7	0.7
1299	1256.0	44.6	1300.6	2.69	384.9	590.6	88.3	134.2	29.2	8.6	197.6	58.5	0.9
1300	1108.4	39.0	1147.4	2.56	350.6	516.0	93.4	142.0	29.5	9.0	174.3	53.3	0.8
1301	954.7	34.1	988.8	2.24	328.7	460.2	85.8	130.4	29.0	9.6	150.2	49.9	0.7
1302	865.0	31.7	896.7	2.67	267.2	526.9	87.0	132.1	28.3	8.4	136.3	40.6	0.8
1303	887.2	31.7	918.9	2.77	267.1	570.6	81.4	123.7	29.0	8.4	139.6	40.6	0.9
1304	970.4	34.4	1004.8	2.72	295.6	637.2	88.1	133.9	29.2	8.6	152.7	44.9	1.0
1305	1020.2	35.7	1056.0	2.89	298.1	505.9	83.5	126.8	29.5	8.3	160.4	45.3	0.8
1306	1025.3	35.5	1060.8	2.81	304.4	408.0	89.5	136.0	29.9	8.6	161.2	46.3	0.6
1307	928.2	32.2	960.4	2.77	278.5	466.4	87.1	132.4	29.9	8.7	145.9	42.3	0.7
1308	820.0	29.0	849.1	2.94	236.9	514.4	76.6	116.4	29.2	8.2	129.0	36.0	0.8
1309	831.9	29.6	861.6	2.75	251.7	513.3	78.1	118.6	29.1	8.5	130.9	38.2	0.8
1310	815.1	28.7	843.7	2.71	248.3	503.8	85.8	130.4	29.4	8.7	128.2	37.7	0.8
1311	943.5	33.3	976.8	2.59	296.0	399.8	54.2	82.4	29.3	8.9	148.4	45.0	0.6
1312	942.8	34.0	976.9	2.42	310.0	378.0	87.3	132.7	28.7	9.1	148.4	47.1	0.6
1313	1006.9	36.3	1043.2	2.31	340.9	398.7	84.5	128.3	28.7	9.4	158.5	51.8	0.6
1314	911.3	35.3	946.6	2.44	300.0	387.2	83.8	127.3	26.8	8.5	143.8	45.6	0.6
1315	1141.6	40.2	1181.8	2.72	347.4	434.5	79.8	121.3	29.4	8.6	179.6	52.8	0.7
1316	1002.2	34.6	1036.8	2.59	313.7	389.7	94.3	143.4	29.9	9.1	157.5	47.7	0.6
1317	991.6	35.0	1026.6	2.54	314.9	383.2	81.1	123.2	29.4	9.0	156.0	47.8	0.6
1318	1031.2	35.9	1067.1	2.67	317.2	392.9	75.9	115.3	29.7	8.8	162.1	48.2	0.6
1319	910.1	31.9	942.1	2.66	280.5	345.3	77.8	118.2	29.5	8.8	143.1	42.6	0.5
1320	793.3	30.0	823.3	2.37	265.6	333.0	68.5	104.1	27.4	8.9	125.1	40.4	0.5
1321	841.6	30.2	871.8	2.41	277.3	350.9	86.6	131.6	28.9	9.2	132.5	42.1	0.5
1322	801.6	28.2	829.8	2.66	246.9	314.5	85.2	129.4	29.4	8.8	126.1	37.5	0.5
1323	765.5	27.0	792.5	2.64	237.3	300.3	91.1	138.5	29.3	8.8	120.4	36.0	0.5
1324	820.7	28.5	849.2	2.76	246.8	315.3	96.1	146.0	29.7	8.6	129.0	37.5	0.5
1325	730.1	26.2	756.3	2.58	230.1	467.9	82.9	126.0	28.8	8.8	114.9	35.0	0.7
1326	864.8	31.0	895.8	2.45	281.5	486.9	88.4	134.3	28.9	9.1	136.1	42.8	0.7
1327	1146.3	42.8	1189.1	2.09	413.4	537.0	77.0	117.1	27.8	9.7	180.7	62.8	0.8
1328	1454.9	55.6	1510.5	1.96	547.5	523.5	70.5	107.1	27.2	9.9	229.5	83.2	0.8
1329	1532.7	61.9	1594.7	1.74	620.4	539.6	62.1	94.3	25.7	10.0	242.3	94.3	0.8
1330	1028.9	38.2	1067.1	1.78	408.8	384.2	72.6	110.3	27.9	10.7	162.1	62.1	0.6
1331	1082.8	35.4	1118.1	2.30	363.5	455.1	63.4	96.3	31.6	10.3	169.9	55.2	0.7
1332	931.5	35.1	966.6	2.06	339.9	513.8	63.3	96.2	27.5	9.7	146.9	51.6	0.8
1333	1003.0	37.6	1040.6	2.32	340.0	539.0	63.8	96.9	27.7	9.0	158.1	51.7	0.8
1334	1567.4	57.4	1624.9	2.06	569.9	548.1	61.4	93.4	28.3	9.9	246.9	86.6	0.8
1335	1453.0	53.4	1506.4	1.94	548.1	578.8	70.8	107.6	28.2	10.3	228.9	83.3	0.9
1336	1315.0	47.3	1362.3	1.78	521.1	634.5	63.4	96.3	28.8	11.0	207.0	79.2	1.0
1337	889.6	32.5	922.1	1.91	338.5	435.9	66.5	101.1	28.4	10.4	140.1	51.4	0.7
1338	924.1	33.2	957.4	2.19	323.1	524.1	56.7	86.1	28.8	9.7	145.5	49.1	0.8
1339	827.0	32.7	859.7	2.54	266.5	526.8	72.2	109.8	26.3	8.2	130.6	40.5	0.8
1340	922.9	36.2	959.0	2.45	303.3	539.9	92.0	139.8	26.5	8.4	145.7	46.1	0.8

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp.fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1341	1206.6	48.3	1254.9	2.10	437.4	542.5	67.9	103.2	26.0	9.1	190.7	66.5	0.8
1342	1398.8	50.5	1449.3	2.40	461.4	483.2	66.4	100.9	28.7	9.1	220.2	70.1	0.7
1343	1071.5	39.6	1111.1	2.18	377.1	581.0	75.7	115.1	28.1	9.5	168.8	57.3	0.9
1344	989.7	36.8	1026.4	1.96	371.7	522.5	73.2	111.2	27.9	10.1	156.0	56.5	0.8
1345	1222.8	45.7	1268.5	2.01	451.6	531.7	71.9	109.2	27.8	9.9	192.7	68.6	0.8
1346	1009.8	37.1	1046.9	2.41	333.5	588.7	71.1	108.0	28.2	9.0	159.1	50.7	0.9
1347	1338.1	46.8	1385.0	2.71	407.2	441.2	57.4	87.3	29.6	8.7	210.4	61.9	0.7
1348	972.5	37.3	1009.8	2.44	319.9	430.5	52.2	79.3	27.1	8.6	153.4	48.6	0.7
1349	978.5	38.0	1016.5	1.98	366.7	350.3	68.4	103.9	26.8	9.7	154.4	55.7	0.5
1350	1360.9	60.3	1421.2	1.40	628.0	464.4	94.7	143.9	23.6	10.4	216.0	95.4	0.7
1352	897.7	41.7	939.4	2.38	307.4	383.4	82.2	124.9	22.5	7.4	142.7	46.7	0.6
1353	756.5	32.8	789.3	2.76	233.7	569.2	92.0	139.7	24.1	7.1	119.9	35.5	0.9
1354	747.7	32.2	779.9	2.81	228.7	597.0	95.9	145.6	24.2	7.1	118.5	34.7	0.9
1355	710.3	32.0	742.3	2.77	220.2	509.3	95.4	145.0	23.2	6.9	112.8	33.5	0.8
1356	710.0	30.9	740.9	2.65	225.5	543.3	89.9	136.6	23.9	7.3	112.6	34.3	0.8
1357	737.5	29.3	766.8	2.76	225.7	538.3	101.4	154.2	26.2	7.7	116.5	34.3	0.8
1358	747.4	30.3	777.7	2.93	220.3	523.4	94.1	142.9	25.7	7.3	118.2	33.5	0.8
1359	839.1	32.9	872.0	3.18	233.8	543.3	108.3	164.5	26.5	7.1	132.5	35.5	0.8
1360	795.5	30.6	826.2	2.88	235.5	386.0	115.4	175.4	27.0	7.7	125.5	35.8	0.6
1361	717.2	28.6	745.8	2.83	216.0	412.4	101.9	154.9	26.1	7.5	113.3	32.8	0.6
1362	746.0	30.0	776.0	2.75	228.8	455.4	105.5	160.3	25.9	7.6	117.9	34.8	0.7
1363	698.4	27.5	725.9	2.52	225.8	535.5	89.8	136.5	26.4	8.2	110.3	34.3	0.8
1364	706.3	25.7	732.0	2.50	227.5	514.4	88.2	134.1	28.5	8.9	111.2	34.6	0.8
1365	717.9	27.5	745.3	2.56	229.1	534.9	92.7	140.9	27.1	8.3	113.3	34.8	0.8
1366	793.6	30.4	824.0	2.59	251.6	589.4	102.0	155.1	27.1	8.3	125.2	38.2	0.9
1367	897.1	34.3	931.4	2.57	285.2	659.8	104.9	159.3	27.1	8.3	141.5	43.3	1.0
1368	803.4	31.6	835.0	2.24	279.5	595.2	100.8	153.2	26.4	8.8	126.9	42.5	0.9
1369	820.7	31.1	851.8	2.40	272.3	532.4	95.9	145.6	27.4	8.8	129.4	41.4	0.8
1370	772.3	29.2	801.5	2.38	257.5	495.8	86.0	130.6	27.4	8.8	121.8	39.1	0.8
1371	721.0	27.7	748.7	2.76	219.7	533.1	91.1	138.4	27.0	7.9	113.8	33.4	0.8
1372	791.2	30.5	821.7	2.68	245.3	578.7	88.4	134.3	26.9	8.0	124.9	37.3	0.9
1373	782.4	30.5	812.8	2.75	239.3	561.5	92.7	140.8	26.7	7.9	123.5	36.4	0.9
1374	775.6	29.3	804.9	2.70	239.1	552.5	108.1	164.3	27.5	8.2	122.3	36.3	0.8
1375	773.2	29.8	803.0	2.70	238.8	558.4	100.9	153.3	27.0	8.0	122.0	36.3	0.8
1376	767.9	29.7	797.6	2.76	234.1	558.0	99.9	151.7	26.9	7.9	121.2	35.6	0.8
1377	780.8	30.3	811.0	2.74	239.1	519.4	92.3	140.2	26.8	7.9	123.2	36.3	0.8
1378	720.5	27.6	748.1	2.67	224.0	415.6	103.3	157.0	27.1	8.1	113.7	34.0	0.6
1379	676.9	25.8	702.7	2.70	208.5	432.0	102.6	155.9	27.3	8.1	106.8	31.7	0.7
1380	790.6	27.7	818.3	2.91	229.8	526.9	114.8	174.4	29.5	8.3	124.3	34.9	0.8
1381	866.0	32.8	898.8	2.58	274.8	501.1	99.0	150.5	27.4	8.4	136.6	41.7	0.8
1382	732.7	28.4	761.1	2.69	227.1	485.8	92.9	141.2	26.8	8.0	115.6	34.5	0.7
1383	804.7	29.5	834.2	3.11	225.0	455.7	93.6	142.2	28.3	7.6	126.8	34.2	0.7
1384	911.3	32.6	944.0	3.25	247.1	513.2	110.3	167.6	28.9	7.6	143.4	37.5	0.8
1385	998.9	35.6	1034.5	2.85	295.1	574.5	109.0	165.6	29.0	8.3	157.2	44.8	0.9
1386	936.3	37.7	973.9	2.66	293.6	581.8	106.9	162.5	25.9	7.8	148.0	44.6	0.9
1387	872.1	39.0	911.1	2.83	266.9	549.2	100.9	153.4	23.4	6.8	138.4	40.5	0.8
1388	845.4	34.7	880.1	2.75	260.3	508.2	97.4	148.0	25.4	7.5	133.7	39.5	0.8
1389	839.9	34.1	874.0	2.73	259.5	513.9	95.7	145.4	25.6	7.6	132.8	39.4	0.8
1390	825.3	29.9	855.2	2.88	242.5	546.6	110.4	167.8	28.6	8.1	129.9	36.8	0.8
1391	854.4	32.6	887.0	2.79	258.1	590.8	107.6	163.5	27.2	7.9	134.8	39.2	0.9
1392	906.3	33.0	939.3	2.90	265.4	554.1	107.7	163.6	28.5	8.1	142.7	40.3	0.8
1393	846.0	30.1	876.1	2.77	254.4	424.2	107.5	163.3	29.1	8.4	133.1	38.7	0.6
1394	797.8	28.8	826.7	2.76	240.8	469.5	102.2	155.3	28.7	8.4	125.6	36.6	0.7
1395	738.3	27.0	765.3	2.80	221.2	445.1	103.7	157.5	28.4	8.2	116.3	33.6	0.7

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp.fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1396	792.9	29.5	822.3	2.80	237.9	482.1	103.0	156.6	27.9	8.1	125.0	36.2	0.7
1397	860.1	29.7	889.8	2.94	247.9	506.2	109.6	166.5	30.0	8.4	135.2	37.7	0.8
1398	940.9	31.1	972.0	2.95	269.4	521.5	113.1	171.8	31.2	8.7	147.7	40.9	0.8
1399	896.4	30.4	926.8	2.73	270.8	511.8	112.1	170.3	30.4	8.9	140.8	41.1	0.8
1400	909.5	32.2	941.7	2.64	282.3	533.2	113.6	172.6	29.2	8.8	143.1	42.9	0.8
1401	852.5	30.2	882.7	2.63	264.7	439.4	106.8	162.3	29.2	8.8	134.1	40.2	0.7
1402	881.7	30.5	912.2	2.59	276.1	436.5	105.5	160.3	29.9	9.1	138.6	42.0	0.7
1403	855.5	29.6	885.1	2.56	269.7	420.4	105.4	160.2	29.9	9.1	134.5	41.0	0.6
1404	891.3	29.8	921.1	2.75	267.4	451.7	115.9	176.1	30.9	9.0	140.0	40.6	0.7
1405	906.7	31.9	938.6	2.68	278.1	516.1	106.1	161.1	29.4	8.7	142.6	42.3	0.8
1406	864.8	29.5	894.4	2.70	263.4	494.8	106.9	162.5	30.3	8.9	135.9	40.0	0.8
1407	825.6	28.4	854.0	2.73	250.1	475.0	91.3	138.7	30.0	8.8	129.8	38.0	0.7
1408	812.0	28.4	840.5	2.70	248.0	511.4	96.7	146.9	29.6	8.7	127.7	37.7	0.8
1409	806.5	27.9	834.4	2.73	244.0	529.7	95.8	145.6	29.9	8.8	126.8	37.1	0.8
1410	853.8	29.9	883.7	2.69	261.4	561.9	108.6	165.0	29.5	8.7	134.3	39.7	0.9
1411	758.7	27.5	786.2	2.68	233.6	552.4	94.1	143.0	28.6	8.5	119.5	35.5	0.8
1412	823.1	28.8	851.9	2.81	244.5	593.2	95.7	145.4	29.6	8.5	129.4	37.2	0.9
1413	890.6	31.8	922.3	3.03	252.8	520.8	106.5	161.9	29.0	8.0	140.1	38.4	0.8
1414	805.7	28.8	834.5	2.88	236.2	471.2	101.1	153.6	29.0	8.2	126.8	35.9	0.7
1415	787.4	28.8	816.3	2.83	234.2	473.4	107.2	162.8	28.3	8.1	124.0	35.6	0.7
1416	739.6	26.7	766.3	2.85	219.0	434.1	98.5	149.7	28.7	8.2	116.4	33.3	0.7
1417	827.9	29.7	857.6	2.68	254.9	567.6	116.9	177.6	28.9	8.6	130.3	38.7	0.9
1418	818.8	29.9	848.8	2.68	252.6	559.4	101.0	153.5	28.4	8.4	129.0	38.4	0.9
1419	823.9	29.7	853.6	2.67	254.3	566.5	112.7	171.3	28.8	8.6	129.7	38.6	0.9
1420	835.4	30.6	866.0	2.54	266.5	598.4	107.6	163.5	28.3	8.7	131.6	40.5	0.9
1421	836.6	29.4	866.0	2.73	253.4	561.7	108.1	164.3	29.5	8.6	131.6	38.5	0.9
1422	829.2	28.4	857.7	2.90	240.9	419.6	119.6	181.7	30.2	8.5	130.3	36.6	0.6
1423	843.9	29.2	873.1	2.89	246.1	501.5	120.2	182.7	29.9	8.4	132.7	37.4	0.8
1424	736.4	25.5	762.0	2.82	218.3	437.4	113.5	172.4	29.8	8.6	115.8	33.2	0.7
1425	769.9	27.0	796.9	2.85	226.9	538.4	117.4	178.3	29.5	8.4	121.1	34.5	0.8
1426	799.1	28.1	827.1	2.67	245.7	541.8	122.1	185.5	29.5	8.8	125.7	37.3	0.8
1427	872.4	31.5	903.9	2.49	281.5	596.6	123.9	188.3	28.7	8.9	137.3	42.8	0.9
1428	833.0	29.7	862.7	2.52	266.3	418.4	120.5	183.0	29.0	9.0	131.1	40.5	0.6
1429	862.1	30.5	892.6	2.83	255.4	418.1	128.8	195.7	29.3	8.4	135.6	38.8	0.6
1430	908.9	32.5	941.4	2.57	287.3	449.8	133.9	203.4	28.9	8.8	143.0	43.7	0.7
1431	857.7	30.5	888.2	2.63	266.6	431.1	121.0	183.9	29.1	8.7	135.0	40.5	0.7
1432	831.2	29.9	861.2	2.69	255.3	528.1	116.6	177.1	28.8	8.5	130.9	38.8	0.8
1433	826.2	31.7	857.9	2.64	258.4	522.3	102.5	155.7	27.1	8.2	130.4	39.3	0.8
1434	772.5	29.6	802.1	2.67	239.8	516.4	123.0	186.9	27.1	8.1	121.9	36.4	0.8
1435	891.8	34.6	926.3	2.51	288.6	524.1	112.5	170.9	26.8	8.3	140.8	43.8	0.8
1436	841.5	32.5	874.0	2.64	263.5	493.8	123.6	187.8	26.9	8.1	132.8	40.0	0.8
1437	815.3	31.0	846.3	2.63	255.9	467.3	116.8	177.4	27.3	8.3	128.6	38.9	0.7
1438	808.7	30.3	839.0	2.86	239.9	460.8	114.8	174.5	27.7	7.9	127.5	36.5	0.7
1439	841.2	31.7	872.9	2.92	246.4	437.8	117.7	178.8	27.6	7.8	132.6	37.4	0.7
1440	1105.9	41.7	1147.6	2.88	326.9	478.7	124.2	188.7	27.5	7.8	174.4	49.7	0.7
1441	1007.5	37.3	1044.8	2.72	308.4	432.4	115.7	175.9	28.0	8.3	158.7	46.9	0.7
1442	952.8	35.4	988.2	2.63	297.5	458.1	121.0	183.9	27.9	8.4	150.2	45.2	0.7
1443	878.9	33.1	912.0	2.81	263.9	467.9	111.7	169.7	27.5	8.0	138.6	40.1	0.7
1444	862.7	31.9	894.7	2.73	263.4	451.1	118.5	180.1	28.0	8.3	135.9	40.0	0.7
1445	875.6	33.0	908.6	2.72	268.1	536.4	111.9	170.0	27.5	8.1	138.1	40.7	0.8
1446	836.8	31.7	868.5	2.58	265.7	523.8	102.1	155.2	27.4	8.4	132.0	40.4	0.8
1447	879.0	33.3	912.3	2.67	272.7	552.2	119.8	182.1	27.4	8.2	138.6	41.4	0.8
1448	801.5	31.5	833.0	2.69	248.7	523.1	117.1	177.9	26.4	7.9	126.6	37.8	0.8
1449	869.4	32.4	901.8	2.71	266.9	541.0	117.7	178.8	27.8	8.2	137.0	40.6	0.8

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp.fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1450	1037.9	38.4	1076.3	2.58	328.5	559.4	99.2	150.7	28.0	8.6	163.5	49.9	0.9
1451	1003.3	36.6	1040.0	2.76	303.2	467.1	99.5	151.2	28.4	8.3	158.0	46.1	0.7
1452	936.0	34.8	970.7	2.59	295.2	436.5	99.3	150.8	27.9	8.5	147.5	44.8	0.7
1453	798.3	30.6	828.9	2.12	286.7	539.2	85.0	129.2	27.1	9.4	126.0	43.6	0.8
1454	840.4	31.9	872.3	2.48	273.3	559.1	91.1	138.4	27.3	8.6	132.5	41.5	0.8
1455	776.9	29.8	806.7	2.54	249.3	519.3	98.1	149.0	27.1	8.4	122.6	37.9	0.8
1456	908.6	33.5	942.0	2.78	273.9	482.1	120.9	183.8	28.1	8.2	143.1	41.6	0.7
1457	985.5	37.4	1022.9	2.73	301.8	468.4	121.1	184.0	27.4	8.1	155.4	45.9	0.7
1458	993.2	36.3	1029.5	2.93	288.9	456.1	104.6	159.0	28.4	8.0	156.4	43.9	0.7
1459	1011.5	37.1	1048.6	2.90	296.5	457.7	98.4	149.5	28.3	8.0	159.3	45.0	0.7
1460	1073.6	39.2	1112.8	2.93	312.1	463.2	109.2	165.9	28.4	8.0	169.1	47.4	0.7
1461	909.3	33.6	942.8	2.85	269.5	515.6	103.3	157.0	28.1	8.0	143.3	40.9	0.8
1462	867.5	32.0	899.6	2.92	253.2	554.0	108.7	165.2	28.1	7.9	136.7	38.5	0.8
1463	836.5	31.5	868.0	2.97	242.1	537.6	90.5	137.4	27.6	7.7	131.9	36.8	0.8
1464	1034.7	39.1	1073.8	2.84	308.8	593.2	92.0	139.9	27.4	7.9	163.2	46.9	0.9
1465	1077.5	38.4	1116.0	2.79	323.1	494.7	117.6	178.7	29.0	8.4	169.6	49.1	0.8
1466	1011.3	34.1	1045.4	2.84	297.7	435.2	114.0	173.2	30.6	8.7	158.8	45.2	0.7
1467	1119.7	38.1	1157.7	2.85	328.8	530.4	107.7	163.7	30.4	8.6	175.9	50.0	0.8
1468	1053.0	37.9	1090.9	2.93	305.8	497.7	102.5	155.8	28.8	8.1	165.8	46.5	0.8
1469	1014.4	37.6	1052.0	2.78	306.1	576.9	90.7	137.7	28.0	8.1	159.8	46.5	0.9
1470	1002.7	36.0	1038.7	2.84	296.9	555.4	96.2	146.1	28.8	8.2	157.8	45.1	0.8
1471	1121.4	39.5	1160.9	2.87	329.2	554.2	150.8	229.2	29.4	8.3	176.4	50.0	0.8
1472	991.2	34.5	1025.7	2.85	291.6	480.5	102.5	155.8	29.8	8.5	155.9	44.3	0.7
1473	1002.9	35.7	1038.6	2.58	315.7	542.4	98.9	150.3	29.1	8.8	157.8	48.0	0.8
1474	1012.5	35.0	1047.5	2.80	301.7	545.0	95.2	144.6	30.0	8.6	159.2	45.8	0.8
1475	969.6	34.3	1003.9	2.78	290.7	530.8	93.8	142.5	29.3	8.5	152.5	44.2	0.8
1476	776.5	30.1	806.6	2.98	225.2	460.3	102.6	155.9	26.8	7.5	122.6	34.2	0.7
1477	882.6	28.9	911.6	3.10	244.4	444.1	99.5	151.2	31.5	8.4	138.5	37.1	0.7
1478	1013.9	34.7	1048.6	3.07	283.8	471.2	102.8	156.2	30.2	8.2	159.3	43.1	0.7
1479	1041.4	35.2	1076.6	2.89	302.8	489.7	109.2	165.9	30.6	8.6	163.6	46.0	0.7
1480	970.5	33.6	1004.1	2.90	282.3	562.3	87.0	132.2	29.9	8.4	152.6	42.9	0.9
1481	996.3	34.1	1030.5	2.98	284.7	548.9	93.3	141.7	30.2	8.3	156.6	43.3	0.8
1482	1024.8	35.1	1059.9	3.03	289.1	546.5	103.2	156.8	30.2	8.2	161.1	43.9	0.8
1483	936.7	30.9	967.6	2.91	270.5	478.6	107.8	163.7	31.3	8.7	147.0	41.1	0.7
1485	1150.9	37.1	1187.9	2.69	348.8	599.2	93.8	142.5	32.1	9.4	180.5	53.0	0.9
1486	1192.1	37.0	1229.0	3.11	326.8	595.8	121.2	184.2	33.2	8.8	186.7	49.7	0.9
1487	1104.2	34.8	1139.0	3.02	309.3	604.5	117.3	178.2	32.7	8.9	173.1	47.0	0.9
1488	1154.9	35.5	1190.5	2.94	328.3	593.8	122.3	185.8	33.5	9.2	180.9	49.9	0.9
1489	1119.2	35.5	1154.7	2.77	332.2	607.7	123.1	187.0	32.5	9.3	175.5	50.5	0.9
1490	1132.4	35.9	1168.4	2.78	335.6	594.2	123.8	188.1	32.5	9.3	177.5	51.0	0.9
1491	985.1	32.0	1017.1	2.63	303.6	618.9	120.2	182.7	31.8	9.5	154.5	46.1	0.9
1492	1064.6	33.2	1097.8	2.88	307.6	553.7	116.9	177.7	33.1	9.3	166.8	46.7	0.8
1493	1052.1	32.9	1085.0	2.85	306.1	545.4	117.3	178.2	33.0	9.3	164.9	46.5	0.8
1494	1066.2	33.0	1099.2	3.01	298.8	562.8	130.6	198.5	33.3	9.0	167.0	45.4	0.9
1495	1040.5	32.0	1072.5	3.07	287.9	534.2	127.1	193.1	33.5	9.0	163.0	43.7	0.8
1496	1016.4	31.6	1047.9	3.15	276.4	567.9	122.6	186.3	33.2	8.8	159.2	42.0	0.9
1497	1015.6	31.5	1047.2	2.84	296.0	569.3	131.5	199.7	33.2	9.4	159.1	45.0	0.9
1498	838.4	26.2	864.6	2.65	255.6	613.4	114.7	174.4	33.1	9.8	131.4	38.8	0.9
1499	829.4	25.9	855.3	2.79	244.6	604.7	112.0	170.2	33.0	9.5	130.0	37.2	0.9
1500	865.0	27.1	892.2	2.65	264.0	600.9	119.9	182.1	32.9	9.7	135.6	40.1	0.9
1501	902.4	28.2	930.6	2.69	272.7	611.5	111.6	169.6	33.0	9.7	141.4	41.4	0.9
1502	968.6	30.3	998.9	2.82	283.7	613.4	106.9	162.5	32.9	9.3	151.8	43.1	0.9
1503	974.8	30.9	1005.7	2.80	287.4	554.9	112.5	170.9	32.5	9.3	152.8	43.7	0.8
1504	990.6	31.3	1021.9	2.86	288.2	598.6	110.4	167.8	32.6	9.2	155.3	43.8	0.9

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp.fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1505	1039.1	32.3	1071.4	2.92	297.3	612.3	122.7	186.4	33.1	9.2	162.8	45.2	0.9
1506	979.4	30.8	1010.2	2.81	287.6	566.4	109.4	166.2	32.8	9.3	153.5	43.7	0.9
1507	969.5	29.8	999.4	2.83	282.8	623.6	112.2	170.4	33.5	9.5	151.9	43.0	0.9
1508	1024.1	32.3	1056.4	2.76	304.5	613.2	105.0	159.5	32.7	9.4	160.5	46.3	0.9
1509	1070.0	34.2	1104.1	2.71	322.2	612.4	110.6	168.0	32.3	9.4	167.8	49.0	0.9
1510	1138.9	36.1	1175.0	2.77	338.1	629.2	123.1	187.0	32.5	9.4	178.5	51.4	1.0
1511	1126.3	35.8	1162.1	2.77	334.8	549.9	111.7	169.8	32.5	9.4	176.6	50.9	0.8
1512	1150.8	37.8	1188.6	2.54	362.5	559.5	111.4	169.2	31.5	9.6	180.6	55.1	0.9
1513	1101.7	36.4	1138.2	2.40	360.6	594.5	104.8	159.2	31.2	9.9	172.9	54.8	0.9
1514	1026.1	33.3	1059.4	2.61	317.7	542.6	115.7	175.8	31.8	9.5	161.0	48.3	0.8
1515	1028.9	33.0	1061.9	2.68	312.8	612.1	106.7	162.2	32.1	9.5	161.4	47.5	0.9
1516	992.6	31.6	1024.2	2.72	298.7	595.2	100.6	152.9	32.4	9.5	155.6	45.4	0.9
1517	1062.6	33.9	1096.5	2.75	317.2	610.0	114.7	174.3	32.4	9.4	166.6	48.2	0.9
1518	1022.4	33.2	1055.6	2.87	297.5	589.3	104.8	159.3	31.8	9.0	160.4	45.2	0.9
1519	1160.5	38.2	1198.7	2.37	382.3	590.8	86.4	131.3	31.4	10.0	182.1	58.1	0.9
1520	1184.5	37.9	1222.4	2.70	358.1	560.2	109.2	166.0	32.2	9.4	185.7	54.4	0.9
1521	1145.2	37.1	1182.3	2.53	361.4	536.7	116.2	176.6	31.9	9.7	179.6	54.9	0.8
1522	1123.7	37.2	1161.0	2.36	372.1	552.3	120.2	182.6	31.2	10.0	176.4	56.5	0.8
1523	1239.9	40.3	1280.2	2.51	393.9	586.2	113.5	172.5	31.8	9.8	194.5	59.8	0.9
1524	1094.8	37.0	1131.8	2.58	343.0	606.7	109.0	165.6	30.6	9.3	172.0	52.1	0.9
1525	1090.2	34.9	1125.1	2.90	314.1	519.4	112.4	170.8	32.3	9.0	171.0	47.7	0.8
1526	1151.6	37.1	1188.7	2.84	337.2	577.8	124.9	189.7	32.0	9.1	180.6	51.2	0.9
1527	1145.8	36.3	1182.1	2.92	328.5	585.3	125.3	190.3	32.6	9.1	179.6	49.9	0.9
1528	1051.4	34.0	1085.3	2.60	325.8	610.0	107.7	163.7	32.0	9.6	164.9	49.5	0.9
1529	1058.6	33.8	1092.3	2.69	320.7	613.8	105.5	160.4	32.4	9.5	166.0	48.7	0.9
1530	1008.1	32.0	1040.1	2.70	304.2	612.2	104.4	158.6	32.5	9.5	158.0	46.2	0.9
1531	1138.5	36.1	1174.6	2.75	339.7	612.6	117.4	178.3	32.5	9.4	178.5	51.6	0.9
1532	1069.1	33.8	1102.8	2.75	319.0	618.5	110.7	168.3	32.7	9.4	167.6	48.5	0.9
1533	1022.8	32.9	1055.7	2.52	323.4	600.7	110.1	167.3	32.1	9.8	160.4	49.1	0.9
1534	1031.5	32.6	1064.1	2.85	300.4	621.7	122.1	185.5	32.7	9.2	161.7	45.6	0.9
1535	976.8	31.3	1008.1	2.81	287.8	541.3	126.4	192.1	32.2	9.2	153.2	43.7	0.8
1536	1058.7	33.9	1092.5	2.62	326.5	498.0	122.5	186.1	32.3	9.6	166.0	49.6	0.8
1537	1025.1	32.6	1057.6	2.78	303.5	505.6	110.1	167.3	32.5	9.3	160.7	46.1	0.8
1538	998.6	31.7	1030.3	2.73	299.4	502.1	122.3	185.8	32.5	9.4	156.6	45.5	0.8
1539	961.3	31.3	992.6	2.61	297.4	601.7	112.6	171.1	31.7	9.5	150.8	45.2	0.9
1540	1030.2	33.7	1063.9	2.64	316.8	601.7	123.5	187.7	31.6	9.4	161.7	48.1	0.9
1541	1070.6	34.8	1105.4	2.66	327.5	605.5	121.1	184.1	31.8	9.4	168.0	49.8	0.9
1542	1044.4	33.7	1078.1	2.77	311.0	605.8	122.5	186.1	32.0	9.2	163.8	47.3	0.9
1543	945.8	30.6	976.4	2.71	285.2	547.8	114.2	173.5	32.0	9.3	148.4	43.3	0.8
1544	1044.8	33.6	1078.4	2.59	324.4	618.8	116.4	176.9	32.1	9.7	163.9	49.3	0.9
1545	1019.3	33.3	1052.6	2.53	321.9	519.2	115.9	176.2	31.6	9.7	159.9	48.9	0.8
1546	1000.9	33.6	1034.5	2.25	341.1	550.6	112.8	171.5	30.8	10.1	157.2	51.8	0.8
1547	1008.8	32.6	1041.4	2.40	329.8	509.7	112.8	171.3	31.9	10.1	158.2	50.1	0.8
1548	1259.5	39.7	1299.2	2.86	365.8	617.3	128.5	195.3	32.7	9.2	197.4	55.6	0.9
1549	1563.8	52.9	1616.7	2.52	497.7	574.5	147.9	224.7	30.6	9.4	245.7	75.6	0.9
1550	1227.8	41.4	1269.2	2.51	391.0	567.5	126.4	192.0	30.7	9.4	192.8	59.4	0.9
1551	1289.0	41.7	1330.7	2.58	401.5	579.5	140.4	213.3	31.9	9.6	202.2	61.0	0.9
1552	1119.2	36.1	1155.2	2.56	350.0	505.7	122.9	186.8	32.0	9.7	175.5	53.2	0.8
1553	1179.0	39.2	1218.3	2.39	386.8	544.1	121.3	184.3	31.0	9.9	185.1	58.8	0.8
1554	1027.1	33.4	1060.5	2.45	331.3	474.0	113.5	172.4	31.7	9.9	161.1	50.3	0.7
1555	1054.7	34.8	1089.5	2.43	342.6	556.7	116.5	177.0	31.3	9.8	165.5	52.1	0.8
1556	1132.0	37.7	1169.7	2.29	381.5	608.6	118.1	179.5	31.0	10.1	177.7	58.0	0.9
1557	1179.4	39.0	1218.4	2.46	380.3	542.1	128.1	194.7	31.2	9.7	185.1	57.8	0.8
1558	1058.7	33.8	1092.5	2.47	338.8	475.6	124.7	189.5	32.4	10.0	166.0	51.5	0.7

Anello	V <sub>aria,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>liquido</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>schiuma,0</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>supp. fronte</sub> [bar]	V <sub>schiuma,p</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>tensioattivo</sub> [l]	V <sub>acqua agg</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	FER <sub>m,0</sub> [-]	FER <sub>m,p</sub> [-]	FIR <sub>m,0</sub> [%]	FIR <sub>m,p</sub> [%]	TR <sub>m</sub> [l/m <sup>3</sup> ]
1559	1077.6	35.1	1112.7	2.45	347.3	494.2	121.8	185.0	31.7	9.9	169.1	52.8	0.8
1560	1141.3	35.5	1176.8	2.61	351.8	536.5	124.4	189.0	33.2	9.9	178.8	53.5	0.8
1561	1085.3	34.5	1119.8	2.48	346.4	526.5	123.7	188.0	32.5	10.0	170.1	52.6	0.8
1562	1048.1	33.3	1081.4	2.56	328.1	532.6	119.8	182.0	32.5	9.9	164.3	49.9	0.8
1563	985.3	31.8	1017.1	2.59	306.5	462.6	110.5	167.9	32.0	9.6	154.5	46.6	0.7
1564	1132.3	36.2	1168.5	2.60	351.0	464.9	117.0	177.7	32.3	9.7	177.5	53.3	0.7
1565	1205.0	38.3	1243.3	2.49	383.7	499.1	125.4	190.5	32.4	10.0	188.9	58.3	0.8
1566	1094.2	34.5	1128.7	2.50	347.1	482.9	122.0	185.3	32.7	10.1	171.5	52.7	0.7
1567	1107.9	36.0	1143.9	2.31	371.2	512.3	116.7	177.3	31.8	10.3	173.8	56.4	0.8
1568	1004.7	32.3	1037.1	2.36	331.4	449.7	109.3	166.1	32.1	10.2	157.6	50.4	0.7
1569	1054.4	34.4	1088.8	2.18	366.5	565.6	117.0	177.8	31.7	10.7	165.4	55.7	0.9
1570	973.4	31.0	1004.4	2.40	317.1	512.9	108.0	164.1	32.4	10.2	152.6	48.2	0.8
1571	1107.0	35.3	1142.3	2.38	363.2	538.5	114.0	173.2	32.4	10.3	173.6	55.2	0.8
1572	1153.4	36.6	1190.0	2.49	366.6	500.9	108.4	164.7	32.5	10.0	180.8	55.7	0.8
1573	1232.2	38.9	1271.1	2.40	401.6	515.1	117.0	177.8	32.7	10.3	193.1	61.0	0.8
1574	1121.6	35.8	1157.5	2.35	370.5	510.8	106.9	162.5	32.3	10.3	175.9	56.3	0.8
1575	1312.6	42.6	1355.2	2.32	438.2	611.8	110.8	168.4	31.8	10.3	205.9	66.6	0.9
1576	1153.5	37.8	1191.3	2.35	381.9	483.9	108.4	164.6	31.5	10.1	181.0	58.0	0.7
1577	1129.7	37.3	1167.0	2.32	377.1	626.5	103.0	156.4	31.3	10.1	177.3	57.3	1.0
1578	1075.4	35.0	1110.4	2.41	350.2	576.0	101.7	154.5	31.7	10.0	168.7	53.2	0.9
1579	1137.8	35.9	1173.7	2.44	367.0	611.9	100.4	152.6	32.7	10.2	178.3	55.8	0.9
1580	1060.1	33.2	1093.3	2.55	332.0	583.3	103.6	157.3	32.9	10.0	166.1	50.5	0.9
1581	1173.7	38.5	1212.2	2.19	406.1	579.9	109.3	166.0	31.5	10.5	184.2	61.7	0.9
1582	1225.0	42.8	1267.8	2.12	435.4	492.6	106.8	162.4	29.6	10.2	192.6	66.2	0.7
1583	1154.5	41.0	1195.5	1.97	429.9	462.3	104.6	158.9	29.2	10.5	181.6	65.3	0.7
1584	1269.6	44.8	1314.4	2.07	458.3	593.7	107.3	163.1	29.3	10.2	199.7	69.6	0.9
1585	1272.8	45.5	1318.4	2.03	465.6	598.4	110.7	168.3	28.9	10.2	200.3	70.8	0.9
1586	1279.8	47.5	1327.3	1.90	489.0	625.0	119.2	181.2	27.9	10.3	201.7	74.3	0.9
1587	1334.7	48.4	1383.2	1.98	496.1	536.0	128.6	195.4	28.6	10.2	210.2	75.4	0.8
1588	1580.8	52.9	1633.7	2.36	523.6	575.9	126.2	191.7	30.9	9.9	248.2	79.6	0.9
1589	2025.0	66.1	2091.1	2.44	654.3	568.8	119.9	182.1	31.6	9.9	317.7	99.4	0.9
1590	1344.8	44.6	1389.4	2.27	456.2	579.6	134.5	204.3	31.1	10.2	211.1	69.3	0.9
1591	1208.8	41.7	1250.5	2.11	430.3	612.8	97.5	148.1	30.0	10.3	190.0	65.4	0.9
1592	1206.6	40.2	1246.8	2.30	406.2	602.3	102.8	156.2	31.0	10.1	189.4	61.7	0.9
1593	1219.1	40.6	1259.7	2.31	409.0	610.1	106.6	162.0	31.0	10.1	191.4	62.2	0.9
1594	1187.6	39.9	1227.5	2.12	420.4	581.7	104.9	159.4	30.8	10.5	186.5	63.9	0.9
1595	1275.9	42.7	1318.6	2.19	442.9	625.0	96.2	146.2	30.9	10.4	200.4	67.3	0.9
1596	1266.4	41.9	1308.3	2.21	435.9	559.6	89.1	135.4	31.2	10.4	198.8	66.2	0.9
1597	1356.2	44.8	1401.0	2.29	457.6	588.7	102.6	156.0	31.3	10.2	212.9	69.5	0.9
1598	1151.1	37.9	1189.0	2.41	375.7	577.3	101.3	153.9	31.4	9.9	180.7	57.1	0.9
1599	1242.4	40.8	1283.1	2.28	419.9	600.6	95.7	145.5	31.5	10.3	195.0	63.8	0.9
1600	1029.8	33.6	1063.4	2.28	347.6	591.5	96.8	147.0	31.6	10.3	161.6	52.8	0.9
1601	1269.8	41.3	1311.1	2.30	426.6	632.1	100.5	152.7	31.8	10.3	199.2	64.8	1.0
1602	1170.1	37.5	1207.7	2.19	403.9	506.3	93.9	142.7	32.2	10.8	183.5	61.4	0.8
1603	1286.4	41.4	1327.8	2.16	448.8	632.4	96.4	146.4	32.1	10.8	201.8	68.2	1.0
1604	1185.0	38.7	1223.7	1.98	436.5	530.7	97.3	147.8	31.6	11.3	185.9	66.3	0.8
1605	1224.8	40.0	1264.8	2.00	448.4	565.3	97.2	147.7	31.6	11.2	192.2	68.1	0.9
1606	1235.8	39.8	1275.6	2.06	443.4	604.4	100.1	152.1	32.0	11.1	193.8	67.4	0.9
1607	1360.6	43.2	1403.8	2.16	473.1	617.8	93.3	141.8	32.5	11.0	213.3	71.9	0.9

N.B.: Per gli anelli evidenziati in azzurro sono state eseguite le prove di slump.

### **11.3 Allegato 3: Calcolo dei parametri del condizionamento associati al materiale caratterizzato in sito con prove di slump**

Anello	Slump [cm]	Progr. fronte iniz. [m]	Progr. fronte al prelievo [m]	m scavati [m]	Durata scavo [min]	Tempo scavo al prelievo [min]	V <sub>schiuma,p,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p,t</sub> [%]	V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> /V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [-]	Slump/V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [cm]
Prova 1	15	6142.88	6142.88	0.74	92	35	123.4	20.7	1.6	7.9	55.8	0.56	93.7	0.17	26.9
Prova 2	11	6144.19	6144.19	2.06	97	88	312.7	59.3	1.3	7.6	50.8	0.51	96.5	0.19	21.6
Prova 1	14	6144.53	6144.53	0.20	80	10	34.8	5.3	1.4	8.6	57.6	0.58	88.5	0.15	24.3
Prova 2	8	6146.02	6146.02	1.70	93	81	267.4	54.8	1.3	9.3	52.7	0.53	107.9	0.20	15.2
Prova 1	11	6246.08	6246.08	0.54	107	22	74.9	20.0	1.6	7.6	46.5	0.47	124.2	0.27	23.6
Prova 2	9	6247.28	6247.28	1.74	134	66	227.2	65.4	1.1	8.9	43.7	0.44	125.8	0.29	20.6
Prova 1	9	6248.39	6248.39	0.65	135	26	106.0	25.2	1.4	8.6	54.1	0.54	129.0	0.24	16.6
Prova 2	8	6249.56	6249.56	1.82	127	78	319.4	70.4	1.1	9.0	58.5	0.59	128.9	0.22	13.7
Prova 1	10	6261.86	6261.86	0.93	99	46	219.1	35.2	1.3	8.6	79.2	0.79	127.0	0.16	12.6
Prova 2	13	6262.65	6262.65	1.72	122	86	410.4	66.9	1.1	8.9	79.8	0.80	130.2	0.16	16.3
Prova 1	15	6263.59	6263.59	0.51	111	32	118.4	24.2	1.1	9.0	77.5	0.77	158.6	0.20	19.4
Prova 2	15	6265.02	6265.02	1.95	99	119	443.0	100.6	1.1	8.6	76.0	0.76	172.5	0.23	19.7
Prova 1	20	6274.54	6274.54	0.43	122	27	105.4	18.2	1.1	8.9	82.6	0.83	142.4	0.17	24.2
Prova 2	14	6275.58	6275.58	1.47	127	92	364.2	65.7	1.1	9.0	82.6	0.83	149.0	0.18	16.9
Prova 1	17	6283.69	6283.69	0.74	99	77	346.1	26.7	1.1	8.6	155.6	1.56	120.0	0.08	10.9
Prova 2	11	6284.72	6284.72	1.78	122	112	504.6	67.6	1.3	8.6	94.7	0.95	126.8	0.13	11.6
Prova 1	5	6285.77	6285.77	0.68	111	39	175.3	22.4	1.1	9.0	86.4	0.86	110.7	0.13	5.8
Prova 2	11	6286.96	6286.96	1.86	99	96	430.4	73.5	1.3	8.6	77.2	0.77	131.9	0.17	14.2
Prova 1	5	6287.93	6287.93	0.61	122	34	141.0	18.2	1.3	8.6	77.0	0.77	99.4	0.13	6.5
Prova 2	13	6288.99	6288.99	1.67	99	91	381.0	66.1	1.3	8.3	76.1	0.76	132.1	0.17	17.1
Prova 1	6	6301.44	6301.44	0.90	99	40	157.4	29.8	1.3	8.3	58.4	0.58	110.5	0.19	10.3
Prova 2	8	6302.37	6302.37	1.84	98	85	334.4	67.6	1.1	8.6	60.8	0.61	123.1	0.20	13.2
Prova 1	7	6303.37	6303.37	0.66	98	33	133.8	22.5	1.1	8.6	67.5	0.68	113.4	0.17	10.4
Prova 2	7	6304.59	6304.59	1.88	96	86	350.3	74.2	1.0	9.1	62.2	0.62	131.7	0.21	11.3
Prova 1	9	6325.25	6325.25	0.51	96	26	112.4	19.4	1.0	9.1	73.3	0.73	126.7	0.17	12.3
Prova 2	11	6326.47	6326.47	1.73	99	80	349.1	72.1	1.0	8.8	67.6	0.68	139.6	0.21	16.3
Prova 1	8	6329.60	6329.60	0.48	99	22	93.0	12.3	1.0	8.8	65.3	0.65	86.4	0.13	12.3
Prova 2	9	6330.80	6330.80	1.67	91	73	313.7	52.4	1.0	8.8	62.7	0.63	104.6	0.17	14.4
Prova 1	9	6338.63	6338.63	0.62	91	28	100.8	19.0	1.0	8.8	54.3	0.54	102.3	0.19	16.6
Prova 2	9	6339.72	6339.72	1.71	83	73	266.0	64.0	1.4	7.3	52.0	0.52	125.2	0.24	17.3
Prova 1	6	6413.65	6413.65	0.90	83	36	128.5	32.0	1.4	7.3	47.8	0.48	118.9	0.25	12.6
Prova 2	6	6414.58	6414.58	1.83	82	70	251.6	68.8	1.5	7.7	45.9	0.46	125.4	0.27	13.1
Prova 1	7	6415.48	6415.48	0.53	82	21	75.8	24.1	1.5	7.7	48.1	0.48	153.0	0.32	14.6
Prova 2	6	6416.71	6416.71	1.75	97	66	237.8	75.2	1.3	7.1	45.4	0.45	143.7	0.32	13.2
Prova 1	11	6419.30	6419.30	0.30	97	16	50.4	16.9	1.3	7.1	55.5	0.56	186.3	0.34	19.8

	Anello	Slump [cm]	Progr. fronte iniz. [m]	Progr. fronte al prelievo [m]	m scavati [m]	Durata scavo [min]	Tempo scavo al prelievo [min]	V <sub>schiuma,p,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p,t</sub> [%]	V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> [l/m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> /V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [-]	Slump/V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [cm]
Prova 1	1364	5	6430.92	6430.92	0.50	76	20	79.2	16.9	1.6	8.9	52.7	0.53	112.7	0.21	9.5
Prova 2		8	6432.10	6432.10	1.69		62	250.8	65.6			49.7	0.50	130.1	0.26	16.1
Prova 1	1366	11	6435.04	6435.04	0.29	88	14	53.3	14.9	1.5	8.3	61.4	0.61	171.4	0.28	17.9
Prova 2		9	6436.47	6436.47	1.72		69	263.1	71.8			51.2	0.51	139.7	0.27	17.6
Prova 1	1374	7	6453.18	6453.18	0.83	85	33	124.0	34.2	1.5	8.2	49.9	0.50	137.9	0.28	14.0
Prova 2		13	6454.07	6454.07	1.72		68	251.7	77.7			48.9	0.49	151.0	0.31	26.6
Prova 1	1384	11	6474.34	6474.34	0.37	84	16	58.3	19.6	1.5	7.6	53.0	0.53	178.5	0.34	20.8
Prova 2		12	6476.10	6476.10	1.76		70	261.4	88.7			49.7	0.50	168.7	0.34	24.1
Prova 1	1385	10	6476.82	6476.82	0.33	94	16	67.6	17.7	1.5	8.3	68.4	0.68	179.2	0.26	14.6
Prova 2		12	6478.40	6478.40	1.90		81	333.7	92.8			58.6	0.59	162.9	0.28	20.5
Prova 1	1390	14	6488.38	6488.38	0.84	90	36	125.7	42.0	1.5	8.1	50.1	0.50	167.2	0.33	28.0
Prova 2		9	6489.42	6489.42	1.87		78	274.0	88.1			49.0	0.49	157.4	0.32	18.4
Prova 1	1391	15	6490.18	6490.18	0.44	97	22	76.2	27.1	1.4	7.9	57.2	0.57	203.5	0.36	26.2
Prova 2		7	6491.50	6491.50	1.76		79	278.5	79.4			52.8	0.53	150.5	0.29	13.3
Prova 1	1397	12	6504.02	6504.02	1.11	91	44	155.6	47.8	1.3	8.4	47.0	0.47	144.2	0.31	25.5
Prova 2		13	6504.82	6504.82	1.91		79	279.5	88.5			48.9	0.49	154.7	0.32	26.6
Prova 1	1427	14	6568.98	6568.98	0.42	95	22	89.2	28.4	1.5	8.9	71.7	0.72	228.0	0.32	19.5
Prova 2		9	6570.67	6570.67	1.69		77	311.1	89.1			61.5	0.62	176.1	0.29	14.6
Prova 1	1428	13	6571.44	6571.44	0.30	89	14	56.5	14.9	1.1	9.0	63.6	0.64	167.7	0.26	20.4
Prova 2		10	6572.92	6572.92	1.78		75	302.5	91.3			56.7	0.57	171.2	0.30	17.6
Prova 1	1430	13	6576.10	6576.10	0.50	99	27	105.8	26.5	1.1	8.8	70.1	0.70	175.9	0.25	18.5
Prova 2		7	6577.32	6577.32	1.73		81	317.2	98.1			61.4	0.61	190.0	0.31	11.4
Prova 1	1431	11	6578.38	6578.38	0.58	90	29	114.5	33.0	1.1	8.7	65.7	0.66	189.2	0.29	16.7
Prova 2		6	6579.58	6579.58	1.78		76	300.6	91.7			56.5	0.56	172.3	0.30	10.6
Prova 1	1436	13	6589.44	6589.44	0.66	95	30	109.4	37.2	1.2	8.1	55.5	0.55	188.5	0.34	23.4
Prova 2		14	6590.55	6590.55	1.77		77	283.6	96.5			53.6	0.54	182.3	0.34	26.1
Prova 1	1437	8	6591.43	6591.43	0.43	90	21	80.2	25.8	1.2	8.3	61.9	0.62	198.8	0.32	12.9
Prova 2		9	6592.71	6592.71	1.71		71	269.8	88.2			52.7	0.53	172.3	0.33	17.1
Prova 1	1439	9	6595.84	6595.84	0.49	94	20	68.6	29.7	1.1	7.8	46.7	0.47	202.6	0.43	19.3
Prova 2		14	6596.76	6596.76	1.41		55	185.1	73.7			43.8	0.44	174.6	0.40	31.9
Prova 1	1443	6	6604.67	6604.67	0.49	96	22	79.9	22.2	1.1	8.0	54.5	0.55	151.2	0.28	11.0
Prova 2		6	6605.97	6605.97	1.79		78	281.3	81.2			52.4	0.52	151.5	0.29	11.4
Prova 1	1445	10	6609.08	6609.08	0.49	96	23	86.3	23.3	1.3	8.1	58.8	0.59	158.7	0.27	17.0
Prova 2		7	6610.26	6610.26	1.67		75	278.8	78.8			55.8	0.56	157.9	0.28	12.5
Prova 1	1452	10	6624.29	6624.29	0.33	99	16	62.7	14.9	1.0	8.5	63.8	0.64	151.9	0.24	15.7
Prova 2		12	6625.55	6625.55	1.59		73	290.6	65.6			61.1	0.61	138.0	0.23	19.6

	Anello	Slump [cm]	Progr. fronte iniz. [m]	Progr. fronte al prelievo [m]	m scavati <sub>t</sub> [m]	Durata scavo [min]	Tempo scavo al prelievo [min]	V <sub>schiuma,p,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p,t</sub> [%]	V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [-]	Slump/V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [cm]
Prova 1	1453	10	6626.22	6626.75	0.53	88	23	105.5	19.8	1.4	9.4	66.7	0.67	125.6	15.0
Prova 2		9	6627.96	6627.96	1.74		74	341.7	65.3			65.7	0.66	125.5	13.7
Prova 1	1459	10	6639.34	6639.76	0.41	107	21	77.6	17.8	1.0	8.0	63.0	0.63	144.7	15.9
Prova 2		8	6641.13	6641.13	1.79		87	316.0	72.8			59.0	0.59	135.9	13.6
Prova 1	1460	11	6641.56	6641.91	0.34	113	21	74.0	16.3	1.0	8.0	72.0	0.72	158.7	15.3
Prova 2		9	6643.16	6643.16	1.59		86	306.8	76.0			64.5	0.64	159.8	14.0
Prova 1	1467	10	6656.97	6657.38	0.40	113	23	86.4	18.5	1.2	8.6	71.6	0.72	152.9	14.0
Prova 2		10	6658.78	6658.78	1.81		94	361.0	84.3			66.8	0.67	156.2	15.0
Prova 1	1488	9	6703.13	6703.79	0.66	108	34	132.9	29.0	1.0	9.2	67.1	0.67	146.3	13.4
Prova 2		7	6704.93	6704.93	1.79		89	352.4	79.6			65.6	0.66	148.3	10.7
Prova 1	1489	10	6705.37	6705.89	0.52	104	28	117.7	25.1	1.0	9.3	75.9	0.76	162.1	13.2
Prova 2		9	6707.20	6707.20	1.82		87	370.5	81.9			67.9	0.68	150.1	13.3
Prova 1	1493	4	6714.17	6715.45	1.29	97	59	245.7	54.3	1.0	9.3	63.7	0.64	140.8	6.3
Prova 2		8	6716.27	6716.27	2.10		93	387.1	90.6			61.5	0.61	144.0	13.0
Prova 1	1494	11	6716.42	6716.77	0.35	99	19	72.5	19.0	1.0	9.0	70.0	0.70	183.5	15.7
Prova 2	1495	9	6718.57	6720.56	2.00	97	88	339.7	97.7	1.0	9.0	56.8	0.57	163.4	15.8
Prova 1	1502	10	6734.07	6734.29	0.22	97	13	50.8	11.7	1.2	9.3	78.3	0.78	180.2	12.8
Prova 2		8	6735.78	6735.78	1.71		79	302.9	67.6			59.1	0.59	132.0	13.5
Prova 1	1503	13	6736.22	6736.57	0.35	93	18	72.8	15.2	1.1	9.3	68.8	0.69	143.5	18.9
Prova 2		7	6737.88	6737.88	1.66		73	300.3	71.0			60.6	0.61	143.1	11.6
Prova 1	1509	7	6749.35	6749.83	0.47	100	22	94.7	21.3	1.1	9.4	66.9	0.67	150.2	10.5
Prova 2		7	6749.35	6751.14	1.78		80	341.9	73.2			64.1	0.64	137.1	10.9
Prova 1	1510	5	6751.59	6751.90	0.31	107	16	69.2	14.9	1.1	9.4	75.4	0.75	162.6	6.6
Prova 2		9	6753.37	6753.37	1.77		88	370.9	86.7			69.9	0.70	163.4	12.9
Prova 1	1511	11	6753.77	6754.03	0.27	105	15	62.2	12.2	1.0	9.4	78.3	0.78	153.8	14.0
Prova 2		11	6755.02	6755.02	1.25		60	253.7	51.1			67.7	0.68	136.5	16.2
Prova 1	1516	4	6764.80	6766.77	1.97	94	86	361.4	75.2	1.2	9.5	61.3	0.61	127.5	6.5
Prova 2		5	6767.34	6767.34	0.35	101	17	71.8	16.2	1.2	9.4	68.6	0.69	154.9	7.3
Prova 1	1517	9	6766.99	6768.56	1.57	99	72	301.8	70.6			64.2	0.64	150.3	14.0
Prova 2		6	6769.17	6770.61	1.44		67	264.3	57.6	1.2	9.0	61.2	0.61	133.2	9.8
Prova 1	1518	5	6769.17	6771.23	2.06	99	96	375.7	83.0			60.9	0.61	134.7	8.2
Prova 2		8	6850.61	6852.62	2.01	104	97	441.8	94.1	1.1	9.8	73.6	0.74	156.7	10.9
Prova 1	1556	8	6852.81	6853.05	0.24	112	14	63.9	10.6	1.1	10.1	88.9	0.89	146.9	9.0
Prova 2	1560	9	6861.61	6863.70	2.09	111	108	460.3	104.9	1.0	9.9	73.6	0.74	167.7	12.2
Prova 1	1561	7	6863.78	6864.05	0.27	107	13	59.3	14.6	1.1	10.0	74.0	0.74	183.0	9.5
Prova 2		11	6865.03	6865.03	1.25		61	269.8	63.4			72.2	0.72	169.5	15.2

	Anello	Slump [cm]	Progr. fronte iniz. [m]	Progr. fronte al prelievo [m]	m scavati, t [m]	Durata scavo [min]	Tempo scavo al prelievo [min]	V <sub>schiuma,p,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> [m <sup>3</sup> ]	c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p,t</sub> [%]	V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Acqua <sub>agg,t</sub> V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [-]	Slump/V <sub>schiuma,p,t</sub> al m <sup>3</sup> [cm]	
Prova 1	1562	10	6866.68	6866.68	0.67	104	33	140.3	32.4	1.1	9.9	69.7	0.70	160.9	0.23	14.3
Prova 2	1566	10	6867.84	6867.84	1.83	111	87	370.8	90.3	1.2	10.1	67.6	0.68	164.7	0.24	14.8
Prova 1	1568	9	6875.12	6875.12	0.33	102	19	80.9	17.9	1.2	10.2	81.6	0.82	180.1	0.22	11.0
Prova 2	1574	10	6876.66	6876.66	1.87	115	95	404.1	98.5	1.2	10.3	72.3	0.72	176.3	0.24	13.8
Prova 1	1575	8	6879.65	6879.65	0.38	136	20	89.8	19.5	1.2	10.4	79.2	0.79	171.6	0.22	10.1
Prova 2	1576	9	6880.87	6880.87	1.60	118	79	351.8	80.6	1.2	10.5	73.6	0.74	168.7	0.23	12.2
Prova 1	1581	14	6893.03	6893.03	0.65	123	34	153.5	29.4	1.2	10.8	79.3	0.79	151.8	0.19	17.7
Prova 2	1587	11	6894.21	6894.21	1.83	135	94	421.7	82.2	1.2	11.3	77.0	0.77	150.1	0.19	14.3
Prova 1	1594	10	6896.62	6896.62	1.99	114	124	558.9	94.4	1.2	10.8	93.9	0.94	158.5	0.17	10.7
Prova 2	1603	12	6897.15	6897.15	0.33	124	20	88.4	17.1	1.1	10.1	90.4	0.90	174.8	0.19	13.3
Prova 1	1604	9	6898.82	6898.82	1.70	114	93	414.6	77.7	1.2	11.3	81.3	0.81	152.5	0.19	11.1
Prova 2	1604	9	6908.16	6908.16	0.36	123	23	106.5	19.3	1.2	10.5	98.5	0.98	178.9	0.18	9.1
Prova 1	1604	10	6909.60	6909.60	1.79	115	100	466.2	81.6	1.2	10.5	86.8	0.87	152.0	0.18	11.5
Prova 2	1604	12	6921.70	6921.70	0.63	135	48	257.0	33.1	0.9	10.2	135.9	1.36	174.9	0.13	8.8
Prova 1	1604	11	6922.87	6922.87	1.81	115	117	624.9	98.9	1.2	10.5	115.6	1.16	183.0	0.16	9.5
Prova 2	1604	9	6937.38	6937.38	0.94	115	51	267.5	45.7	1.2	10.5	95.0	0.95	162.4	0.17	9.5
Prova 1	1604	11	6938.27	6938.27	1.83	124	97	504.2	84.6	1.2	10.8	92.2	0.92	154.7	0.17	11.9
Prova 2	1604	13	6938.85	6938.85	0.20	124	13	64.8	8.8	1.2	10.4	107.2	1.07	145.7	0.14	12.1
Prova 1	1604	14	6940.00	6940.00	1.35	122	77	391.2	57.8	1.1	10.4	96.9	0.97	143.1	0.15	14.5
Prova 2	1604	8	6941.23	6941.23	0.39	122	26	131.7	15.2	1.1	10.4	113.8	1.14	131.4	0.12	7.0
Prova 1	1604	8	6942.68	6942.68	1.84	112	109	546.7	72.2	1.2	10.8	99.4	0.99	131.2	0.13	8.1
Prova 2	1604	9	6955.98	6955.98	1.94	112	98	503.8	76.2	1.2	10.8	87.0	0.87	131.5	0.15	10.3
Prova 1	1604	11	6956.59	6956.59	0.31	124	20	103.5	16.1	1.3	10.8	110.8	1.11	172.1	0.16	9.9
Prova 2	1604	9	6957.89	6957.89	1.62	114	96	492.1	66.6	1.2	11.3	101.8	1.02	137.9	0.14	8.8
Prova 1	1604	13	6960.17	6960.17	1.76	114	93	519.7	74.1	1.2	11.3	98.9	0.99	141.0	0.14	13.1

## **11.4 Allegato 4: Tabelle relative alle prove di slump in sito**

<b>ANELLO PROVA</b>	1233	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	30/10/2018	
		07:50		09:15	<b>Formazione geologica MML</b>		
<b>ANELLO RIFER.</b>	1232	05:00		06:35			
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:15	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>15</b>	Materiale ben condizionato, lieve segregazione d'acqua			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,6	7,9	55,8					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]		16600					
Coppia testa [MNm]		22,3					
Penetrazione [mm/rot]		14,5					
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:10	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,6	7,9	50,8					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]		18579					
Coppia testa [MNm]		27,1					
Penetrazione [mm/rot]		15,1					

<b>ANELLO PROVA</b>	1234	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	30/10/2018	
		10:35		13:30	<b>Formazione geologica MML</b>		
<b>ANELLO RIFER.</b>	1233	07:50		09:15			
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:10	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>14</b>	Frazione grossolana separata dal fine. Mancata creazione del comportamento pastoso			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,3	7,6	57,6					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]		15669					
Coppia testa [MNm]		18,0					
Penetrazione [mm/rot]		11,5					
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:50	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,3	7,6	52,7					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]		12092					
Coppia testa [MNm]		20,6					
Penetrazione [mm/rot]		13,9					

<b>ANELLO PROVA</b>	1280	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	08/11/2018			
		08:40		10:05	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1279	06:15		07:45					
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:02	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	124	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,6	7,6	46,5							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		14936							
Coppia testa [MNm]		22,6							
Penetrazione [mm/rot]		17,6							
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:48				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	126	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,6	7,6	43,7							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		15297							
Coppia testa [MNm]		25,8							
Penetrazione [mm/rot]		19,1							

<b>ANELLO PROVA</b>	1281	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	08/11/2018			
		12:00		13:40	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1280	08:40		10:05					
<b>PROVA 1</b>		Ora	12:28	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	129	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,4	8,6	54,1							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		15229							
Coppia testa [MNm]		31,6							
Penetrazione [mm/rot]		17,8							
<b>PROVA 2</b>		Ora	13:22				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>8</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	129	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,4	8,6	58,5							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		14850							
Coppia testa [MNm]		31,1							
Penetrazione [mm/rot]		15,3							

<b>ANELLO PROVA</b>	1287	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	09/11/2018			
		08:40		10:35	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1286	05:00		07:00					
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:28	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	127								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,3	9,3	79,2							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	23500								
Coppia testa [MNm]	32,9								
Penetrazione [mm/rot]	12,6								
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:10				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>13</b>				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	130								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,3	9,3	79,8							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	22217								
Coppia testa [MNm]	31,7								
Penetrazione [mm/rot]	13,2								

<b>ANELLO PROVA</b>	1288	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	09/11/2018			
		14:40		17:05	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1287	08:40		10:35					
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:15	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>15</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	159								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	8,9	77,5							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19675								
Coppia testa [MNm]	27,4								
Penetrazione [mm/rot]	11,6								
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:42				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>15</b>				Materiale ben condizionato, lieve segregazione d'acqua		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	172								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	8,9	76,0							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	18010								
Coppia testa [MNm]	24,9								
Penetrazione [mm/rot]	11,8								

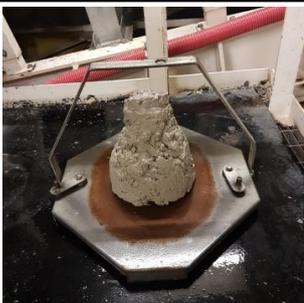
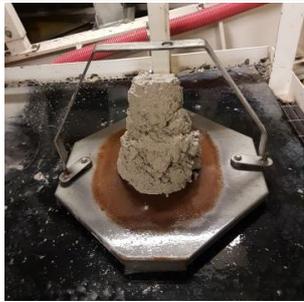
<b>ANELLO PROVA</b>	1293	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	10/11/2018			
		11:30		15:55	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1292	07:10		10:25					
<b>PROVA 1</b>		Ora	12:05	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>20</b>	Materiale troppo fluido per eccesso d'acqua					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	142								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	8,9	82,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	22996								
Coppia testa [MNm]	31,7								
Penetrazione [mm/rot]	8,9								
<b>PROVA 2</b>		Ora	13:28				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>14</b>				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	149								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	8,9	82,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	22423		Fermo dalle 13:50 alle 15:20						
Coppia testa [MNm]	31,0								
Penetrazione [mm/rot]	10,6								

<b>ANELLO PROVA</b>	1297	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	12/11/2018			
		07:30		10:35	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1296	03:00		06:30					
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:00	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>17</b>	Materiale fluido per eccesso d'acqua					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	120								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,0	155,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	22094								
Coppia testa [MNm]	30,3								
Penetrazione [mm/rot]	10,9								
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:05				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>11</b>				Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	127								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	21273								
Coppia testa [MNm]	29,5								
Penetrazione [mm/rot]	10,9								

<b>ANELLO PROVA</b>	1298	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	12/11/2018		
		11:35		13:45	<b>Formazione geologica MML</b>			
ANELLO RIFER.	1297	07:30		10:35				
<b>PROVA 1</b>		Ora	12:20	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>5</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	111	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,1	9,0	86,4						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	20831							
Coppia testa [MNm]	27,1							
Penetrazione [mm/rot]	13,5							
<b>PROVA 2</b>		Ora	13:20	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	132	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,1	9,0	77,2						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	21837							
Coppia testa [MNm]	24,3							
Penetrazione [mm/rot]	15,3							

<b>ANELLO PROVA</b>	1299	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	12/11/2018		
		15:05		17:20	<b>Formazione geologica MML</b>			
ANELLO RIFER.	1298	11:35		13:45				
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:40	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>5</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	99	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,3	8,6	77,0						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	21722							
Coppia testa [MNm]	30,8							
Penetrazione [mm/rot]	13,7							
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:40	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	132	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,3	8,6	76,1						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	20400							
Coppia testa [MNm]	25,6							
Penetrazione [mm/rot]	10,9							

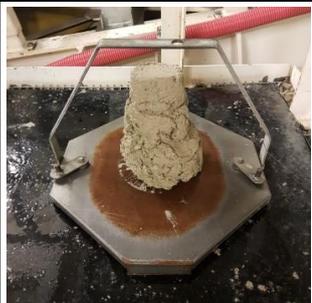
<b>ANELLO PROVA</b>	1305	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	13/11/2018
		09:35		12:20	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1304	06:30		08:05		
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:20	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>6</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	111	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Fermo dalle 10:15 alle 11:05			
1,3	8,3	58,4				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	18803					
Coppia testa [MNm]	26,2					
Penetrazione [mm/rot]	14,4					
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:05	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	123	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,3	8,3	60,8				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	18721					
Coppia testa [MNm]	23,6					
Penetrazione [mm/rot]	14,6					

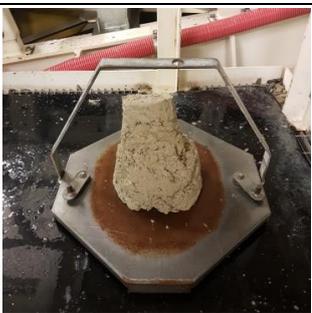
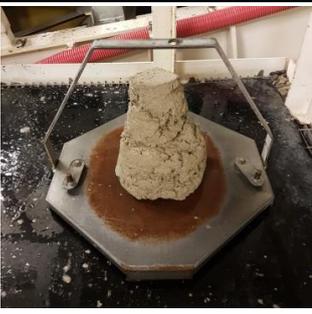
<b>ANELLO PROVA</b>	1306	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	13/11/2018
		14:00		15:55	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1305	09:35		12:20		
<b>PROVA 1</b>		Ora	14:40	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>7</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	113	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	8,6	67,5				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	17359					
Coppia testa [MNm]	25,8					
Penetrazione [mm/rot]	13,9					
<b>PROVA 2</b>		Ora	15:40	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>7</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	132	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	8,6	62,2				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	18873					
Coppia testa [MNm]	27,8					
Penetrazione [mm/rot]	17,0					

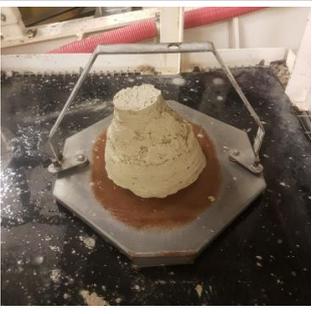
<b>ANELLO PROVA</b>	1316	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	15/11/2018	
		09:05		11:00	<b>Formazione geologica MML</b>		
<b>ANELLO RIFER.</b>	1315	06:05		08:00			
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:40	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza e/o schiuma d'acqua, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	127	<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,0	9,1	73,3					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	22137						
Coppia testa [MNm]	30,9						
Penetrazione [mm/rot]	13,1						
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:40	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	140	<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,0	9,1	67,6					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	21338						
Coppia testa [MNm]	29,0						
Penetrazione [mm/rot]	15,8						

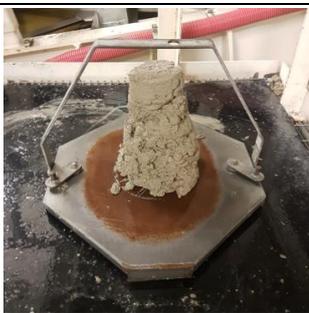
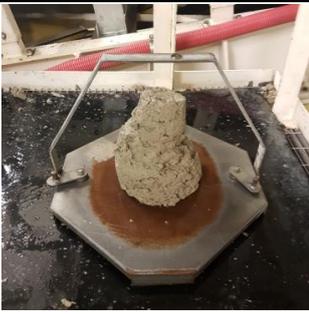
<b>ANELLO PROVA</b>	1318	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	15/11/2018	
		14:30		16:10	<b>Formazione geologica MML</b>		
<b>ANELLO RIFER.</b>	1317	12:00		13:45			
<b>PROVA 1</b>		Ora	14:50	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	86	<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,0	8,8	65,3					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	20288						
Coppia testa [MNm]	29,1						
Penetrazione [mm/rot]	15,4						
<b>PROVA 2</b>		Ora	15:45	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	105	<b>[cm]</b>					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note				
1,0	8,8	62,7					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	20579						
Coppia testa [MNm]	26,6						
Penetrazione [mm/rot]	14,8						

<b>ANELLO PROVA</b>	1322	Ora inizio scavo	Ora fine scavo	DATA	16/11/2018
		08:10	09:45	<b>Formazione geologica</b>	
ANELLO RIFER.	1321	05:30	07:10	<b>MML</b>	
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:40	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta	
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	102	<b>[cm]</b>			
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note		
1,0	8,8	54,3			
<b>Parametri avanzamento</b>					
F <sub>netta</sub> [kN]	19156				
Coppia testa [MNm]	31,4				
Penetrazione [mm/rot]	16,0				
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:25	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta	
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	125	<b>[cm]</b>			
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note		
1,0	8,8	52,0			
<b>Parametri avanzamento</b>					
F <sub>netta</sub> [kN]	18224				
Coppia testa [MNm]	27,1				
Penetrazione [mm/rot]	15,6				

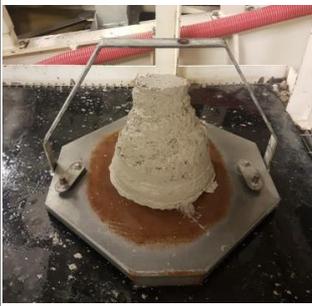
<b>ANELLO PROVA</b>	1356	Ora inizio scavo	Ora fine scavo	DATA	01/12/2018
		07:00	08:35	<b>Formazione geologica</b>	
ANELLO RIFER.	1355	04:30	06:00	<b>MML</b>	
<b>PROVA 1</b>		Ora	07:45	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>6</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa	
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	119	<b>[cm]</b>			
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note		
1,4	7,3	47,8	Variazione geologica (materiale argilloso), riduzione F <sub>netta</sub>		
<b>Parametri avanzamento</b>					
F <sub>netta</sub> [kN]	15021				
Coppia testa [MNm]	27,0				
Penetrazione [mm/rot]	18,0				
<b>PROVA 2</b>		Ora	08:20	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>6</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa	
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	125	<b>[cm]</b>			
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note		
1,4	7,3	45,9			
<b>Parametri avanzamento</b>					
F <sub>netta</sub> [kN]	13977				
Coppia testa [MNm]	22,5				
Penetrazione [mm/rot]	18,5				

<b>ANELLO PROVA</b>	1357	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	01/12/2018			
		09:45		11:30	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1356	07:00		08:35					
<b>PROVA 1</b>		Ora	10:07	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	7	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	153								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	7,7	48,1							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	13556								
Coppia testa [MNm]	26,5								
Penetrazione [mm/rot]	18,1								
<b>PROVA 2</b>		Ora	11:08				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	6				Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	144								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	7,7	45,4							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	14026								
Coppia testa [MNm]	31,3								
Penetrazione [mm/rot]	17,2								

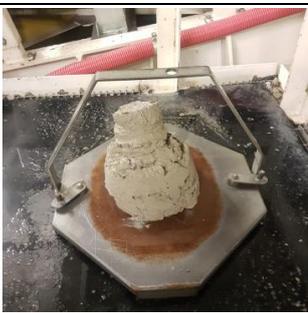
<b>ANELLO PROVA</b>	1359	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	01/12/2018
		16:30		21:10	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1358	13:00		14:55		
<b>PROVA 1</b>		Ora	17:22	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	11	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	186					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note			
1,3	7,1	55,5				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	9033	Fermo dalle 16:40 alle 17:15				
Coppia testa [MNm]	22,2					
Penetrazione [mm/rot]	12,5					

<b>ANELLO PROVA</b>	1364	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	02/12/2018		
		10:20		11:40	<b>Formazione geologica MML</b>			
ANELLO RIFER.	1363	07:00		08:20				
<b>PROVA 1</b>		Ora	10:42	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>5</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	113	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,6	8,9	52,7						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	9733							
Coppia testa [MNm]	20,2							
Penetrazione [mm/rot]	18,3							
<b>PROVA 2</b>		Ora	11:25	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	130	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,6	8,9	49,7						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	9935							
Coppia testa [MNm]	17,5							
Penetrazione [mm/rot]	18,9							

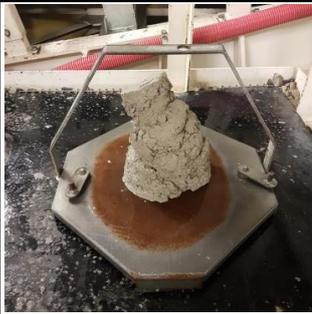
<b>ANELLO PROVA</b>	1366	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	02/12/2018		
		15:35		17:10	<b>Formazione geologica MML</b>			
ANELLO RIFER.	1365	12:25		13:45				
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:50	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	171	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,5	8,3	61,4						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	14400		Scaglie di grandi dimensioni. Presenza di argilla					
Coppia testa [MNm]	15,3							
Penetrazione [mm/rot]	13,8							
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:45	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza e/o schiuma d'acqua, pastosità discreta				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	140	<b>[cm]</b>						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,5	8,3	51,2						
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	19918		Scaglie di grandi dimensioni. Presenza di argilla					
Coppia testa [MNm]	22,8							
Penetrazione [mm/rot]	16,9							

<b>ANELLO PROVA</b>	1374	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	03/12/2018			
		14:10		15:30	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1373	10:35		12:05					
<b>PROVA 1</b>		Ora	14:35	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	7	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	138								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,2	49,9							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	16938								
Coppia testa [MNm]	23,5								
Penetrazione [mm/rot]	17,3								
<b>PROVA 2</b>		Ora	15:10				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	13				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	151								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,2	48,8							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17912								
Coppia testa [MNm]	21,2								
Penetrazione [mm/rot]	17,2								

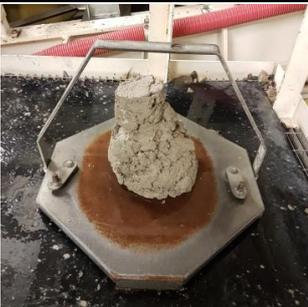
<b>ANELLO PROVA</b>	1384	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	05/12/2018			
		08:00		09:40	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1383	05:15		06:55					
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:20	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	11	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	179								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	7,6	53,0							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	11192								
Coppia testa [MNm]	24,7								
Penetrazione [mm/rot]	16,1								
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:17				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	12				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	169								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	7,6	49,7							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	11702								
Coppia testa [MNm]	24,1								
Penetrazione [mm/rot]	15,0								

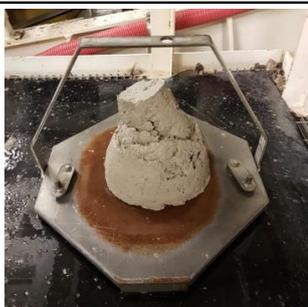
<b>ANELLO PROVA</b>	1385	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	05/12/2018			
		11:30		13:55	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1384	08:00		09:40					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:48	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>10</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	179	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,3	68,4							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	12205								
Coppia testa [MNm]	22,9								
Penetrazione [mm/rot]	16,6								
<b>PROVA 2</b>		Ora	13:00				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>12</b>				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	163	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,3	58,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	9464								
Coppia testa [MNm]	15,6								
Penetrazione [mm/rot]	16,0								

<b>ANELLO PROVA</b>	1390	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	06/12/2018			
		06:55		08:40	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1389	04:30		06:00					
<b>PROVA 1</b>		Ora	07:30	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>14</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	167	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,1	50,1							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17221								
Coppia testa [MNm]	22,0								
Penetrazione [mm/rot]	16,4								
<b>PROVA 2</b>		Ora	08:25				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>				Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	157	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,1	49,0							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	15936								
Coppia testa [MNm]	21,8								
Penetrazione [mm/rot]	15,2								

<b>ANELLO PROVA</b>	1391	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	06/12/2018	
		09:55		11:35	<b>Formazione geologica MML</b>		
<b>ANELLO RIFER.</b>	1390	06:55		08:40			
<b>PROVA 1</b>		Ora	10:15	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>15</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	204	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,4	7,9	57,2					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	15762						
Coppia testa [MNm]	20,1						
Penetrazione [mm/rot]	14,0						
<b>PROVA 2</b>		Ora	11:35	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>7</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	150	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,4	7,9	52,8					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	18227						
Coppia testa [MNm]	24,8						
Penetrazione [mm/rot]	16,1						

<b>ANELLO PROVA</b>	1397	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	07/12/2018	
		05:05		09:35	<b>Formazione geologica MML</b>		
<b>ANELLO RIFER.</b>	1396	03:05		04:25			
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:10	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>12</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	144	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,3	8,4	47,0					
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 05:40 alle 08:00					
F <sub>netta</sub> [kN]	13367						
Coppia testa [MNm]	27,2						
Penetrazione [mm/rot]	15,1						
<b>PROVA 2</b>		Ora	08:50	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	155	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,3	8,4	48,9					
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 08:50 alle 09:25					
F <sub>netta</sub> [kN]	12195						
Coppia testa [MNm]	22,5						
Penetrazione [mm/rot]	12,3						

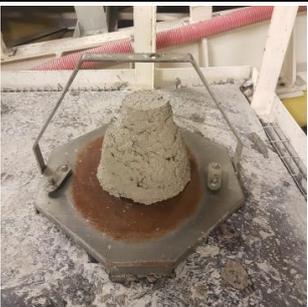
<b>ANELLO PROVA</b>	1427	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	11/12/2018			
		07:30		09:45	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1426	00:50		06:40					
<b>PROVA 1</b>		Ora	07:50	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>14</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	228	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,9	71,7							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17880								
Coppia testa [MNm]	24,4								
Penetrazione [mm/rot]	13,7								
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:25				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>				Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	176	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,5	8,9	61,5							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	18877		Fermo dalle 08:50 alle 09:15						
Coppia testa [MNm]	29,1								
Penetrazione [mm/rot]	16,7								

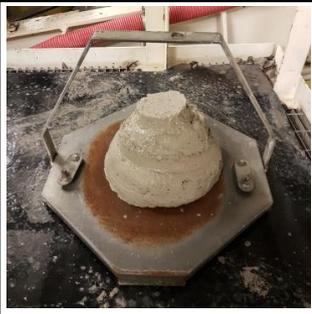
<b>ANELLO PROVA</b>	1428	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	11/12/2018			
		11:00		12:35	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1427	07:30		09:45					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:15	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	168	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,0	63,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17976								
Coppia testa [MNm]	27,7								
Penetrazione [mm/rot]	15,5								
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:15				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>10</b>				Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	171	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,0	56,7							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	18791								
Coppia testa [MNm]	26,7								
Penetrazione [mm/rot]	18,0								

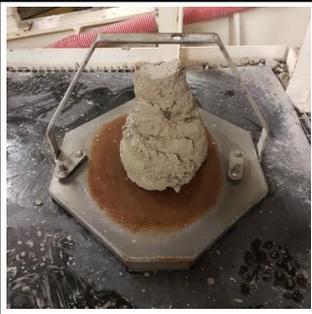
<b>ANELLO PROVA</b>	1430	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	12/12/2018	
		07:00		09:30	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1429	15:50		17:50			
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:12	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		176					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,1	8,8	70,1					
<b>Parametri avanzamento</b>		Altre note					
F <sub>netta</sub> [kN]		19028					
Coppia testa [MNm]		28,0		A inizio scavo materiale fluido a causa del lungo fermo dal giorno precedente			
Penetrazione [mm/rot]		12,4					
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:10		Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>7</b>		Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		190					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,1	8,8	61,4					
<b>Parametri avanzamento</b>		Altre note					
F <sub>netta</sub> [kN]		17355					
Coppia testa [MNm]		25,6		Causa del lungo fermo dal giorno precedente			
Penetrazione [mm/rot]		16,4					

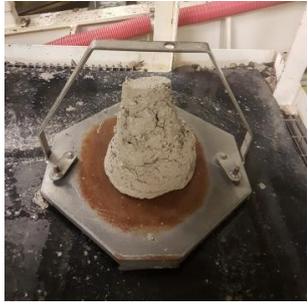
<b>ANELLO PROVA</b>	1430	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	12/12/2018
		10:50		12:40	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1431	07:00		09:30		
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:33	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		189				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	8,7	65,7				
<b>Parametri avanzamento</b>		Altre note				
F <sub>netta</sub> [kN]		19934				
Coppia testa [MNm]		29,2		Causa del lungo fermo dal giorno precedente		
Penetrazione [mm/rot]		16,4				
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:20	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>6</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		172				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	8,7	56,5				
<b>Parametri avanzamento</b>		Altre note				
F <sub>netta</sub> [kN]		19336				
Coppia testa [MNm]		28,4		Causa del lungo fermo dal giorno precedente		
Penetrazione [mm/rot]		17,1				

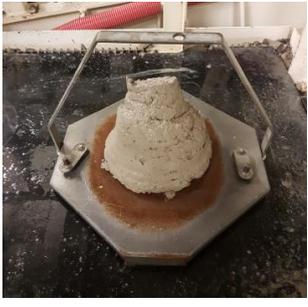
<b>ANELLO PROVA</b>	1436	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	14/12/2018			
		08:40		10:10	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1435	03:25		06:00					
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:00	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	189								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	8,1	55,5							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19725								
Coppia testa [MNm]	26,4								
Penetrazione [mm/rot]	15,9								
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:50				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>14</b>				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	182								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	8,1	53,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19778								
Coppia testa [MNm]	27,9								
Penetrazione [mm/rot]	16,3								

<b>ANELLO PROVA</b>	1437	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	14/12/2018			
		11:15		12:50	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1436	08:40		10:10					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:35	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	199								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	8,3	61,9							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19737								
Coppia testa [MNm]	29,6								
Penetrazione [mm/rot]	16,1								
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:30				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	172								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	8,3	52,7							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17606								
Coppia testa [MNm]	24,7								
Penetrazione [mm/rot]	16,7								

<b>ANELLO PROVA</b>	1439	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	14/12/2018
		16:05		21:00	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1438	14:00		15:25		
<b>PROVA 1</b>		Ora	16:25	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	203	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	7,8	46,7				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	17013					
Coppia testa [MNm]	22,7					
Penetrazione [mm/rot]	16,9					
<b>PROVA 2</b>		Ora	17:00	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>14</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	175	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	7,8	43,8				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	17541		Fermo dalle 17:05 alle 20:00			
Coppia testa [MNm]	23,6					
Penetrazione [mm/rot]	15,9					

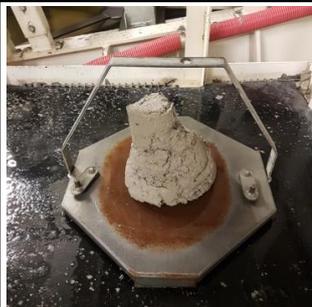
<b>ANELLO PROVA</b>	1443	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	15/12/2018
		09:10		10:50	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1442	06:00		07:50		
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:32	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>6</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	151	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	8,0	54,5				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	13608					
Coppia testa [MNm]	28,0					
Penetrazione [mm/rot]	13,1					
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:30	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>6</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	151	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,1	8,0	52,4				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	14251					
Coppia testa [MNm]	30,9					
Penetrazione [mm/rot]	14,7					

<b>ANELLO PROVA</b>	1445	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	15/12/2018	
		14:55		17:05	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1444	12:10		14:00			
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:45	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	159	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Fermo dalle 15:00 alle 15:30				
1,3	8,1	58,8					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	14693						
Coppia testa [MNm]	24,4						
Penetrazione [mm/rot]	15,3						
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:40	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>7</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	158	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	14721						
Coppia testa [MNm]	23,3						
Penetrazione [mm/rot]	15,0						

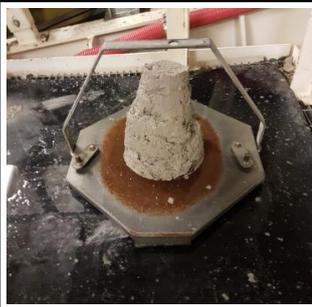
<b>ANELLO PROVA</b>	1452	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	16/12/2018	
		11:10		13:40	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1451	08:10		10:35			
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:27	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	152	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Fronte molto fratturato (presenza di blocchi di grande dimensione)				
1,0	8,5	63,8					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	12371						
Coppia testa [MNm]	18,3						
Penetrazione [mm/rot]	15,1						
<b>PROVA 2</b>		Ora	13:10	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>12</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	138	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Fermo dalle 11:40 alle 12:30				
1,0	8,5	61,1					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	13221						
Coppia testa [MNm]	17,4						
Penetrazione [mm/rot]	15,3						

<b>ANELLO PROVA</b>	1453	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	16/12/2018	
		14:45		16:20	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1452	11:10		13:40			
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:10	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	126	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Fronte molto fratturato (presenza di blocchi di grande dimensione)				
1,4	9,4	66,7					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	12579						
Coppia testa [MNm]	17,8						
Penetrazione [mm/rot]	15,9						
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:03	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	126	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,4	9,4	65,7					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	13405						
Coppia testa [MNm]	16,2						
Penetrazione [mm/rot]	15,7						

<b>ANELLO PROVA</b>	1459	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	17/12/2018	
		07:50		09:40	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1458	04:20		06:40			
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:13	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	145	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,0	8,0	63,0					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	14461						
Coppia testa [MNm]	18,2						
Penetrazione [mm/rot]	14,2						
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:20	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	136	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					
1,0	8,0	59,0					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	14714						
Coppia testa [MNm]	21,5						
Penetrazione [mm/rot]	13,3						

<b>ANELLO PROVA</b>	1460	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	17/12/2018			
		10:50		12:45	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1459	07:50		09:40					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:10	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	159	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	8,0	72,0							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19447								
Coppia testa [MNm]	27,2								
Penetrazione [mm/rot]	12,6								
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:15	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	160	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	8,0	64,5							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17929								
Coppia testa [MNm]	27,6								
Penetrazione [mm/rot]	12,7								

<b>ANELLO PROVA</b>	1467	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	18/12/2018			
		08:15		10:05	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1466	04:40		06:45					
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:35	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>10</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	153	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	8,6	71,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17287								
Coppia testa [MNm]	26,9								
Penetrazione [mm/rot]	13,1								
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:47	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>10</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	156	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	8,6	66,8							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	17428								
Coppia testa [MNm]	23,4								
Penetrazione [mm/rot]	14,0								

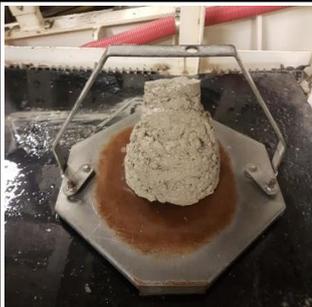
<b>ANELLO PROVA</b>	1488	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	13/01/2019			
		05:15		11:20	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1487	02:00		04:00					
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:35	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	146	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	9,2	67,1	Presenza di argilla. Fermo dalle 05:25 alle 09:15						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19262								
Coppia testa [MNm]	25,8								
Penetrazione [mm/rot]	14,0								
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:52				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>7</b>				Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	148	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	9,2	65,6	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	20721								
Coppia testa [MNm]	27,5								
Penetrazione [mm/rot]	14,3								

<b>ANELLO PROVA</b>	1489	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	13/01/2019			
		14:10		16:25	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1488	05:15		11:20					
<b>PROVA 1</b>		Ora	14:38	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>10</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	162	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	9,3	75,9	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19647								
Coppia testa [MNm]	24,6								
Penetrazione [mm/rot]	13,3								
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:07				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>				Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	150	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	9,3	67,9	Presenza di argilla. Fermo dalle 15:20 alle 15:45						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	21870								
Coppia testa [MNm]	26,4								
Penetrazione [mm/rot]	14,5								

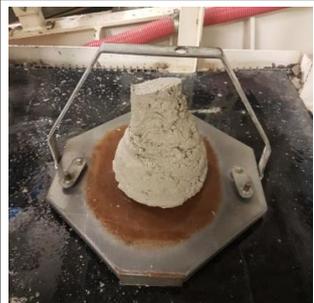
<b>ANELLO PROVA</b>	1493	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	14/01/2019
		08:00		10:05	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1492	05:00		07:10		
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:00	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>4</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	141	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,0	9,3	63,7				
<b>Parametri avanzamento</b>		Presenza di argilla				
F <sub>netta</sub> [kN]	20009					
Coppia testa [MNm]	25,0					
Penetrazione [mm/rot]	16,2					
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:50	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	144	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,0	9,3	61,5				
<b>Parametri avanzamento</b>		Presenza di argilla				
F <sub>netta</sub> [kN]	21046					
Coppia testa [MNm]	25,1					
Penetrazione [mm/rot]	17,2					

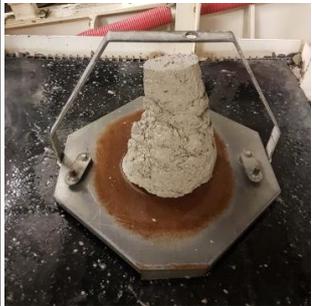
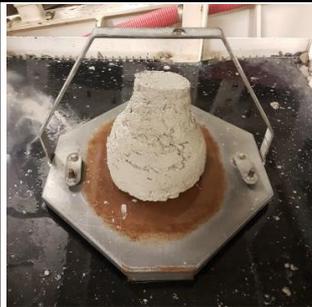
<b>ANELLO PROVA</b>	1495	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	14/01/2019
		14:15		16:05	<b>Formazione geologica MML</b>	
ANELLO RIFER.	1494	11:20		13:35		
<b>PROVA 2</b>		Ora	15:57	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	163	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]				
1,0	9,0	56,8				
<b>Parametri avanzamento</b>		Presenza di argilla				
F <sub>netta</sub> [kN]	20452					
Coppia testa [MNm]	28,1					
Penetrazione [mm/rot]	15,1					

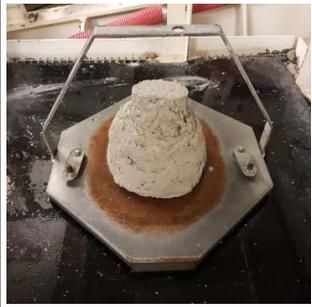
<b>ANELLO PROVA</b>	1494	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	14/01/2019		
		11:20		13:55	<b>Formazione geologica MML</b>			
<b>ANELLO RIFER.</b>	1493	08:00		10:05				
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:40	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	184							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,0	9,0	70,0	Presenza di argilla					
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]	19449							
Coppia testa [MNm]	22,5							
Penetrazione [mm/rot]	13,9							

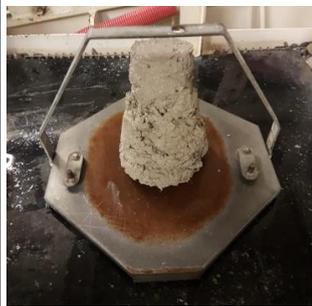
<b>ANELLO PROVA</b>	1502	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	15/01/2019			
		09:45		11:25	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1501	06:15		07:55					
<b>PROVA 1</b>		Ora	10:00	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	180								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	9,3	78,3	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato (Presenza di massi)						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	18191								
Coppia testa [MNm]	17,7								
Penetrazione [mm/rot]	14,6								
<b>PROVA 2</b>		Ora	11:05				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	132								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	9,3	59,1	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato (Presenza di massi)						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	19234								
Coppia testa [MNm]	21,3								
Penetrazione [mm/rot]	15,3								

<b>ANELLO PROVA</b>	1503	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	15/01/2019			
		14:35		17:45	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1502	09:45		11:25					
<b>PROVA 1</b>		Ora	16:08	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,3	68,8	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato.						
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 14:45 alle 16:00							
F <sub>netta</sub> [kN]							21128		
Coppia testa [MNm]							26,3		
Penetrazione [mm/rot]							15,3		
<b>PROVA 2</b>		Ora	17:25				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>7</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,3	60,6	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato (Presenza di massi)						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]				20460					
Coppia testa [MNm]				24,5					
Penetrazione [mm/rot]				16,6					

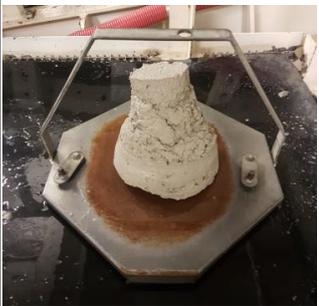
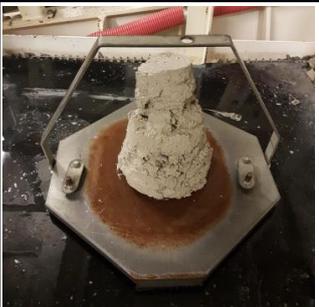
<b>ANELLO PROVA</b>	1509	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	16/01/2019			
		08:25		10:10	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1508	06:05		07:45					
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:27	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>7</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,4	66,9	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato (Presenza di massi)						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]							19212		
Coppia testa [MNm]							23,0		
Penetrazione [mm/rot]							14,8		
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:45				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>7</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,4	64,1	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato (Presenza di massi)						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]				19435					
Coppia testa [MNm]				25,4					
Penetrazione [mm/rot]				14,2					

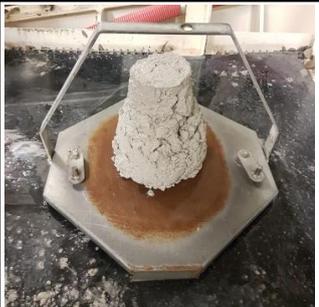
<b>ANELLO PROVA</b>	1510	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	16/01/2019					
		10:55		14:40	<b>Formazione geologica MML</b>						
<b>ANELLO RIFER.</b>	1509	08:25		10:10							
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:12	Commenti	Foto						
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>5</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta							
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	163	<b>[cm]</b>									
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note								
1,1	9,4	75,4	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato								
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 12:00 alle 13:50									
F <sub>netta</sub> [kN]									21130		
Coppia testa [MNm]									30,0		
Penetrazione [mm/rot]					14,1						
<b>PROVA 2</b>		Ora	14:20	Commenti	Foto						
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona							
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	163	<b>[cm]</b>									
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note								
1,1	9,4	69,9	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato.								
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 12:00 alle 13:50									
F <sub>netta</sub> [kN]									21609		
Coppia testa [MNm]									21,4		
Penetrazione [mm/rot]					13,5						

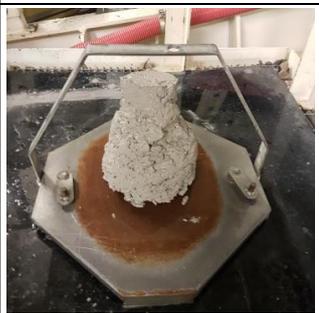
<b>ANELLO PROVA</b>	1511	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	16/01/2019					
		15:40		17:35	<b>Formazione geologica MML</b>						
<b>ANELLO RIFER.</b>	1510	10:55		14:40							
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:55	Commenti	Foto						
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona							
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	154	<b>[cm]</b>									
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note								
1,0	9,4	78,3	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato								
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 12:00 alle 13:50									
F <sub>netta</sub> [kN]									18388		
Coppia testa [MNm]									20,9		
Penetrazione [mm/rot]					13,6						
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:50	Commenti	Foto						
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona							
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	136	<b>[cm]</b>									
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note								
1,0	9,4	67,7	Presenza di argilla. Fronte molto fratturato								
<b>Parametri avanzamento</b>		Fermo dalle 12:00 alle 13:50									
F <sub>netta</sub> [kN]									19962		
Coppia testa [MNm]									22,7		
Penetrazione [mm/rot]					14,4						

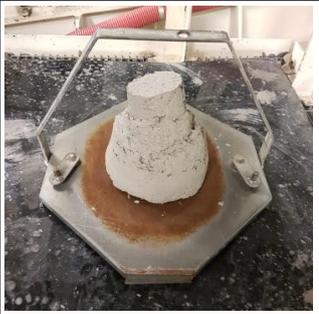
<b>ANELLO PROVA</b>	1516	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	17/01/2019		
		06:15		07:55	<b>Formazione geologica MML</b>			
<b>ANELLO RIFER.</b>	1515	03:35		05:10				
<b>PROVA 2</b>		Ora	07:42	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	4	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	127							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note					
1,2	9,5	61,3	Presenza di argilla					
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]		20319						
Coppia testa [MNm]		27,9						
Penetrazione [mm/rot]		14,9						

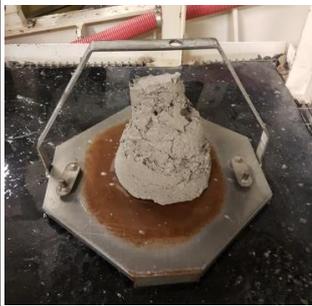
<b>ANELLO PROVA</b>	1517	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	17/01/2019			
		10:37		12:20	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1516	06:15		07:55					
<b>PROVA 1</b>		Ora	10:52	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	5	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	155								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	9,4	68,6	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		20849							
Coppia testa [MNm]		29,0							
Penetrazione [mm/rot]		15,1							
<b>PROVA 2</b>		Ora	11:50				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	9				Materiale lievemente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	150								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	9,4	64,2	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		22018							
Coppia testa [MNm]		29,4							
Penetrazione [mm/rot]		15,4							

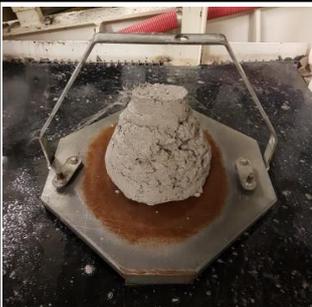
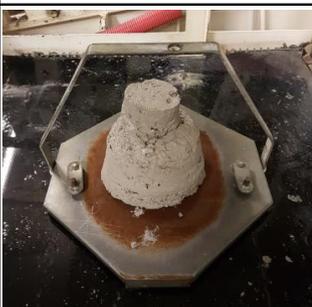
<b>ANELLO PROVA</b>	1518	Ora inizio scavo	Ora fine scavo	DATA	17/01/2019	
		13:00	15:15	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1517	10:37	12:20			
<b>PROVA 1</b>		Ora	14:40	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>6</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	133	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla			
1,2	9,0	61,2				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	19819					
Coppia testa [MNm]	27,8					
Penetrazione [mm/rot]	14,2					
<b>PROVA 2</b>		Ora	15:08	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>5</b>	Materiale eccessivamente rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	135	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla			
1,2	9,0	60,9				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	20293					
Coppia testa [MNm]	28,3					
Penetrazione [mm/rot]	14,8					

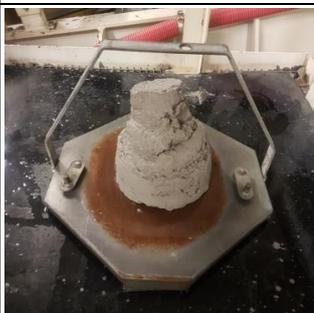
<b>ANELLO PROVA</b>	1555	Ora inizio scavo	Ora fine scavo	DATA	22/01/2019	
		08:20	10:10	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1554	04:50	06:30			
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:52	Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	157	Altre note				
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla			
1,1	9,8	73,6				
<b>Parametri avanzamento</b>						
F <sub>netta</sub> [kN]	23817					
Coppia testa [MNm]	19,9					
Penetrazione [mm/rot]	13,8					

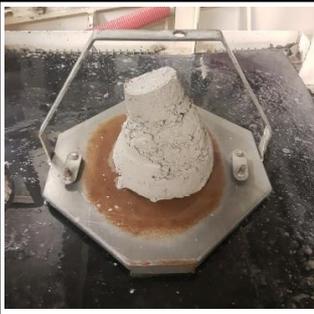
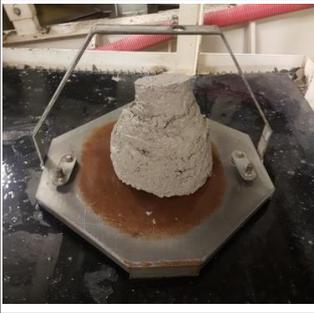
<b>ANELLO PROVA</b>	1556	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	22/01/2019			
		11:30		13:40	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1555	08:20		10:10					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:42	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	147								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,1	88,9							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		25160							
Coppia testa [MNm]		25,8							
Penetrazione [mm/rot]		13,1							

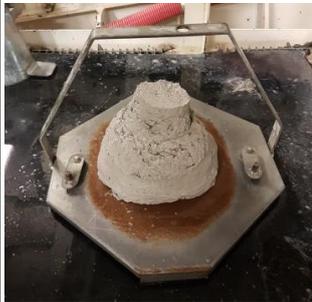
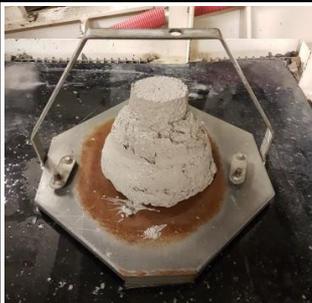
<b>ANELLO PROVA</b>	1560	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	23/01/2019			
		08:00		10:45	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1559	04:20		06:05					
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:38	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	168								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,0	9,9	73,6							
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		23024					Presenza di argilla		
Coppia testa [MNm]		30,5							
Penetrazione [mm/rot]		12,5							

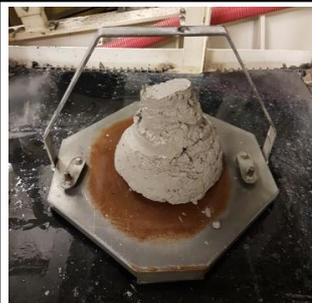
<b>ANELLO PROVA</b>	1561	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	23/01/2019			
		11:45		13:40	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1560	08:00		10:45					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:57	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	7	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	183	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,0	74,0	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		23595							
Coppia testa [MNm]		32,8							
Penetrazione [mm/rot]		12,8							
<b>PROVA 2</b>		Ora					12:47	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	11				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	170	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,0	72,2	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		22411							
Coppia testa [MNm]		27,3							
Penetrazione [mm/rot]		14,3							

<b>ANELLO PROVA</b>	1562	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	23/01/2019			
		14:50		16:50	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1561	11:45		13:40					
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:27	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	10	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	161	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,9	69,7	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		23246							
Coppia testa [MNm]		27,3							
Penetrazione [mm/rot]		14,2							
<b>PROVA 2</b>		Ora					16:30	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	10				Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	165	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	9,9	67,6	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		23920							
Coppia testa [MNm]		28,1							
Penetrazione [mm/rot]		15,0							

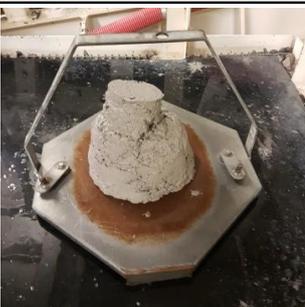
<b>ANELLO PROVA</b>	1566	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	24/01/2019	
		08:30		10:22	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1565	01:40		07:25			
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:48	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	180	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,1	81,6					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	22988						
Coppia testa [MNm]	25,7						
Penetrazione [mm/rot]	12,5						
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:03	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	176	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,1	72,3					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	23265						
Coppia testa [MNm]	24,3						
Penetrazione [mm/rot]	13,5						

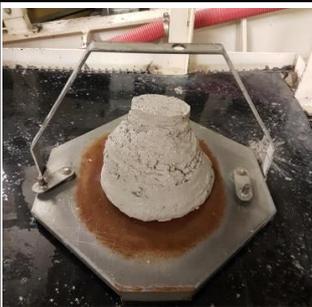
<b>ANELLO PROVA</b>	1568	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	24/01/2019	
		15:35		17:30	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1567	12:55		14:50			
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:50	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	172	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,2	79,2					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	24308						
Coppia testa [MNm]	27,4						
Penetrazione [mm/rot]	14,6						
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:58	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	169	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,2	73,6					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	22066						
Coppia testa [MNm]	25,4						
Penetrazione [mm/rot]	13,4						

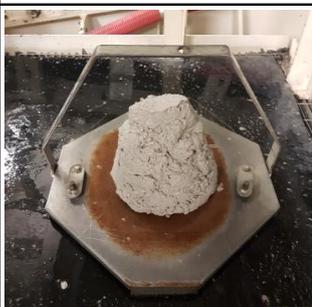
<b>ANELLO PROVA</b>	1574	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	25/01/2019	
		08:55		10:50	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1573	05:30		08:00			
<b>PROVA 1</b>		Ora	09:27	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>14</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	152	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,3	79,3					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	23816						
Coppia testa [MNm]	24,8						
Penetrazione [mm/rot]	13,9						
<b>PROVA 2</b>		Ora	10:30	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	150	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,3	77,0					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	22061						
Coppia testa [MNm]	18,2						
Penetrazione [mm/rot]	10,6						

<b>ANELLO PROVA</b>	1575	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	25/01/2019	
		11:50		14:45	<b>Formazione geologica MML</b>		
ANELLO RIFER.	1574	08:55		10:50			
<b>PROVA 2</b>		Ora	14:30	Commenti	Foto		
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona			
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	159	Altre note					
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Presenza di argilla				
1,2	10,3	93,9					
<b>Parametri avanzamento</b>							
F <sub>netta</sub> [kN]	24834						
Coppia testa [MNm]	25,6						
Penetrazione [mm/rot]	10,9						

<b>ANELLO PROVA</b>	1576	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	25/01/2019			
		15:30		17:28	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1575	11:50		14:45					
<b>PROVA 1</b>		Ora	15:47	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>12</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	175								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,1	90,4	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		23445							
Coppia testa [MNm]		22,2							
Penetrazione [mm/rot]		12,5							
<b>PROVA 2</b>		Ora					17:00	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>				Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	152								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,1	81,3	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		24666							
Coppia testa [MNm]		23,7							
Penetrazione [mm/rot]		13,3							

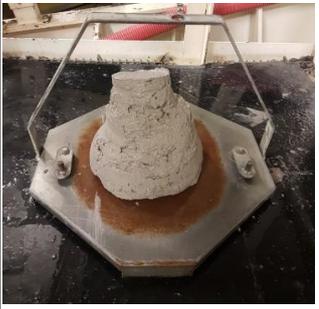
<b>ANELLO PROVA</b>	1581	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	26/01/2019			
		07:25		09:33	<b>Formazione geologica MML</b>				
<b>ANELLO RIFER.</b>	1580	02:40		06:05					
<b>PROVA 1</b>		Ora	07:45	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	179								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	10,5	98,5	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		24918							
Coppia testa [MNm]		24,8							
Penetrazione [mm/rot]		11,9							
<b>PROVA 2</b>		Ora					09:07	Commenti	Foto
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>10</b>				Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	152								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	10,5	86,8	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]		25524							
Coppia testa [MNm]		25,3							
Penetrazione [mm/rot]		11,6							

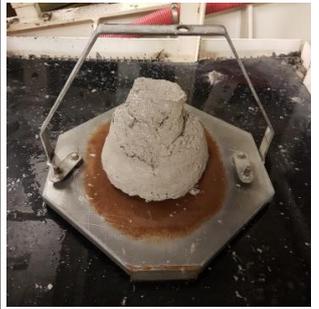
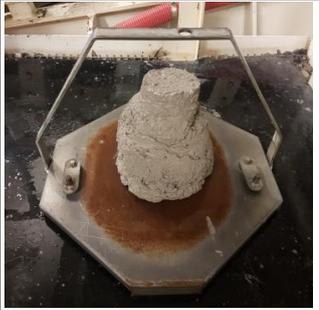
<b>ANELLO PROVA</b>	1587	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	27/01/2019			
		07:00		09:55	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1586	03:35		06:10					
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:20	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>12</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	175	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
0,9	10,2	135,9	Presenza di argilla.						
<b>Parametri avanzamento</b>		Temperature alte in camera							
F <sub>netta</sub> [kN]	24800								
Coppia testa [MNm]	31,5								
Penetrazione [mm/rot]	7,2								
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:33	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	183	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
0,9	10,2	115,6	Presenza di argilla.						
<b>Parametri avanzamento</b>		Temperature alte in camera							
F <sub>netta</sub> [kN]	23812								
Coppia testa [MNm]	27,3								
Penetrazione [mm/rot]	11,6								

<b>ANELLO PROVA</b>	1594	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	28/01/2019			
		08:00		09:55	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1593	04:40		07:10					
<b>PROVA 1</b>		Ora	08:50	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	162	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	10,5	95,0	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>		Temperature alte in camera							
F <sub>netta</sub> [kN]	23914								
Coppia testa [MNm]	24,2								
Penetrazione [mm/rot]	12,7								
<b>PROVA 2</b>		Ora	09:35	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	155	<b>[cm]</b>							
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	10,5	92,2	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>		Temperature alte in camera							
F <sub>netta</sub> [kN]	24043								
Coppia testa [MNm]	23,3								
Penetrazione [mm/rot]	13,1								

<b>ANELLO PROVA</b>	1595	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	28/01/2019			
		10:55		13:00	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1594	08:00		09:55					
<b>PROVA 1</b>		Ora	11:08	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	146								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	10,4	107,2	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	23485								
Coppia testa [MNm]	23,9								
Penetrazione [mm/rot]	12,0								
<b>PROVA 2</b>		Ora	12:12				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>14</b>				Materiale ben condizionato, pastosità buona		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	143								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,2	10,4	96,9	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	25360								
Coppia testa [MNm]	23,1								
Penetrazione [mm/rot]	11,7								

<b>ANELLO PROVA</b>	1596	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	28/01/2019			
		14:10		16:20	<b>Formazione geologica MML</b>				
ANELLO RIFER.	1595	10:55		13:00					
<b>PROVA 1</b>		Ora	14:40	Commenti	Foto				
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità scarsa					
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	131								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,4	113,8	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	24983								
Coppia testa [MNm]	21,8								
Penetrazione [mm/rot]	10,6								
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:05				Commenti	Foto	
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>8</b>				Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta		
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]	131								
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]	Altre note						
1,1	10,4	99,4	Presenza di argilla						
<b>Parametri avanzamento</b>									
F <sub>netta</sub> [kN]	21191								
Coppia testa [MNm]	25,6								
Penetrazione [mm/rot]	12,9								

<b>ANELLO PROVA</b>	1602	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	29/01/2019		
		07:00		09:07	<b>Formazione geologica MML</b>			
<b>ANELLO RIFER.</b>	1601	04:00		06:05				
<b>PROVA 2</b>		Ora	08:52	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale ben condizionato, ma lievemente rigido, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		131						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]						
1,2	10,8	87,0						
<b>Parametri avanzamento</b>		Presenza di argilla						
F <sub>netta</sub> [kN]							24656	
Coppia testa [MNm]							26,7	
Penetrazione [mm/rot]		13,4						

<b>ANELLO PROVA</b>	1603	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	29/01/2019		
		09:55		12:15	<b>Formazione geologica MML</b>			
<b>ANELLO RIFER.</b>	1602	07:00		09:07				
<b>PROVA 1</b>		Ora	10:15	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>11</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		172						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]						
1,3	10,8	110,8						
<b>Parametri avanzamento</b>		Presenza di argilla						
F <sub>netta</sub> [kN]							25430	
Coppia testa [MNm]							21,5	
Penetrazione [mm/rot]		11,9						
<b>PROVA 2</b>		Ora	11:45	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>9</b>	Materiale rigido per mancanza d'acqua e/o di schiuma, pastosità discreta				
Acqua aggiunta [l/m <sup>3</sup> ]		138						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]						
1,3	10,8	101,8						
<b>Parametri avanzamento</b>		Presenza di argilla						
F <sub>netta</sub> [kN]							25118	
Coppia testa [MNm]							23,2	
Penetrazione [mm/rot]		11,5						

<b>ANELLO PROVA</b>	1604	Ora inizio scavo		Ora fine scavo	DATA	29/01/2019		
		13:10		16:50	<b>Formazione geologica MML</b>			
ANELLO RIFER.	1603	10:15		11:45				
<b>PROVA 2</b>		Ora	16:27	Commenti	Foto			
<b>Parametri condizionamento</b>		<b>Slump [cm]</b>	<b>13</b>	Materiale ben condizionato, pastosità buona				
Acqua aggiunta [ $\text{V/m}^3$ ]		141						
c [%]	FER <sub>p</sub> [-]	FIR <sub>p</sub> [%]					Altre note	
1,2	11,3	98,9					Presenza di argilla. Fermo dalle 14:30 alle 16:15	
<b>Parametri avanzamento</b>								
F <sub>netta</sub> [kN]		25181						
Coppia testa [MNm]		23,3						
Penetrazione [mm/rot]		13,4						